



Escola Politècnica Superior  
d'Edificació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

## **MASTER EN EDIFICACIÓN TRABAJO DE FIN DE MASTER**

### **DISEÑO SOSTENIBLE: ADAPTABILIDAD Y DECONSTRUCCIÓN**

*Especialidad: Tecnologías en la Edificación.*

**Estudiante:** Arq. Edgardo Sánchez Juárez.

**Director:** Dr. José Manuel Gómez Soberón.

**Convocatoria:** Junio 2011.



La obra se distribuye bajo los términos y condiciones de la presente licencia pública de **Creative Commons** ("ccpl" o "licencia"). La obra está protegida por la ley del derecho de autor y/o por cualquier otra ley que resulte aplicable. Cualquier uso distinto del autorizado por la presente licencia o por la ley del derecho de autor está prohibido.

Se entiende que por el mero ejercicio de cualquiera de los derechos aquí previstos sobre la obra, usted acepta y se obliga bajo los términos y condiciones de la presente licencia. El licenciante le otorga los derechos aquí descritos considerando la aceptación por su parte de dichos términos y condiciones.



## RESUMEN

Arquitectos y constructores continúan diseñando edificaciones destinadas a durar para siempre, mientras los edificios se deterioran rápidamente, pasan de moda o son obsoletos después de su construcción. Los recursos naturales, económicos y sociales que se han invertido en los edificios, se convierten en residuos, depositados en los vertederos, que de forma lenta se diluyen.

Esta es la oportunidad de la arquitectura, diseñar edificios para responder y adaptarse a los requerimientos de mantenimiento, actualización formal y necesidades de los usuarios. Dicho diseño debe convertirse en un proceso en el que exista una crítica previsión en la reutilización de materiales. La construcción deberá tener en cuenta los potenciales para la reutilización futura o el reciclado.

La programación de los edificios deberá centrarse en la agrupación de los servicios de construcción por lo que esta debe convertirse en un conjunto de servicios en lugar de materiales. El proceso de diseño no tiene principio ni fin, sino que en sí mismo es un flujo continuo de servicios en el que cada parte de los edificios se destine a lugares de descanso temporal para los materiales.

La tesis es un estudio para la comprensión de una lógica de construcción que permite y alienta a la reutilización de materiales de construcción a través de la deconstrucción.

En la actualidad los edificios son elementos estáticos en un ambiente dinámico y están constituidos por elementos caracterizados en la dependencia a conceptos de esteticidad y rigidez; sin embargo su entorno y reclamo funcional son cada vez más rápidos, con características y requerimientos de cambios en las necesidades y en su propio entorno. Así mismo, estos elementos inciden generando importantes impactos a diversos niveles interrelacionados entre sí, tales como el medioambiental, el económico y social.

Entonces, el reto de hoy es diseñar a través de adaptar y deconstruir para crear edificios flexibles que permitan responder a nuevas necesidades. Esta tesis, Diseño Sostenible: Adaptabilidad y Deconstrucción, se aplica para edificación residencial, comercial y de servicios, menores a tres niveles, analizado desde un punto de vista estructural prefabricado, tales como paneles, módulos modulados y container.

Los argumentos que justifican esta tesis son los impactos negativos en lo ambiental de los edificios existentes, su ciclo de vida y los cambios esperados en los edificios. Diseño Sostenible: Adaptabilidad y Deconstrucción es una combinación aproximada entre diseño y construcción que permitirá actuar en los distintos niveles y escalas de los edificios.

Las herramientas fundamentales para alcanzar el diseño sostenible son las conexiones, el tipo de estructura, así como la utilización de sistemas prefabricados.

Esta investigación muestra que la estandarización y el edificio visto como capas y módulos, son esenciales para alcanzar un diseño sostenible.

**Palabras clave:** adaptabilidad, capas de construcción, ciclo de vida de los materiales, construcción modular, deconstrucción, flexibilidad, impacto ambiental, prefabricación, reutilización, sostenibilidad.

## SUMMARY

Architects and builders continue designing buildings intended to last forever, as the buildings deteriorate rapidly, become out of fashion or obsolete after the construction. Natural, economic and social resources, which have invested in buildings, becomes in waste deposited in landfills, which slowly fade.

This is the chance of architecture, to design buildings to respond and adapt to the requirements of maintenance, updating and formal user requirements. This design should become a process in which there is a critical provision in the reuse of materials. The construction should have into account the potential for future reuse or recycling.

The programming of the buildings group should focus on building services so this should become a set of services rather than materials. The design process has no beginning or end, but that in itself is a continuous flow of services in that every part of the buildings are intended for temporary resting places for materials.

The thesis is a study to understand the logic of building construction that permits and encourages the reuse of building materials through deconstruction.

Today, the buildings are static elements in a dynamic environment and consist of elements characterized in reliance on concepts of aesthetics and rigidity, but their environment and functional claims are becoming faster, with characteristics and requirements of changing needs in their own environment. Also, these elements have significant impacts affect a number of interrelated levels, such as environmental, economic and social.

So today's challenge is to design by adapting and deconstruct to create flexible buildings that can respond to new needs. This thesis, Sustainable Design: Adaptability and Deconstruction, applies to residential buildings, commercial and services, fewer than three levels, analyzed from a structural point of view prefabricated, such as panels, modules, and shipping containers.

The arguments for this thesis are the negative environmental impacts of existing buildings, life cycle and expected changes in buildings. Sustainable Design: Adaptability and Deconstruction is an approximated combination of design and construction that can act at different levels and scales of buildings.

The fundamental tools for achieving sustainable design are the connections, the type of structure, and the use of prefabricated systems.

This research shows that the standardization and the building seen as layers and modules are essential for achieving sustainable design.

**Keywords:** adaptability, building layers, life cycle of materials, modular construction, deconstruction, flexibility, environmental impact, prefabrication, reuse, sustainability.



## ÍNDICE

1	CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE .....	12
1.1	IMPACTO AMBIENTAL.....	12
1.2	CICLO DE VIDA DE LOS MATERIALES.....	19
1.3	FLEXIBILIDAD Y ADAPTABILIDAD DE LOS EDIFICIOS.....	23
1.4	COSTE INCENTIVO .....	29
2	TEORÍAS .....	32
2.1	DEFINICIÓN DEL DISEÑO PARA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE ....	32
2.2	ANTECEDENTES .....	34
2.3	OBJETIVOS .....	40
2.4	ESTRATÉGIAS DE DISEÑO .....	42
2.4.1	CONCEPTOS ADICIONALES .....	42
2.4.2	EL MODELO FRACTAL Y ESTANDARIZACIÓN .....	44
2.4.3	LA SOBREPOSICIÓN DE CAPAS .....	46
2.4.4	EL MODELO MODULAR.....	50
2.5	REGLAS PARA LA ADAPTABILIDAD Y DECONSTRUCCIÓN.....	55
2.6	VALORACIÓN DE CONCEPTOS .....	60
3	MÉTODOS PARA LA ADAPTABILIDAD Y DECONSTRUCCIÓN.....	64
3.1	CONEXIONES.....	64
3.2	MATERIALES Y ESTRUCTURAS .....	69
3.2.1	ANÁLISIS DE LOS MATERIALES.....	69
3.2.2	ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS.....	73
3.3	PREFABRICACIÓN.....	78
3.3.1	RESPUESTA A LA DEMANDA MERCANTIL.....	83
3.3.2	SOLUCIONES PARA LAS ESTRUCTURAS PREFABRICADAS ....	87
4	ANÁLISIS DE CASOS DE ESTUDIO .....	89
5	CONCLUSIONES.....	106
	BIBLIOGRAFÍA .....	110

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Explotación de Recursos Materiales en Estado Unidos. ....	14
Figura 2: Utilización de materiales manufacturados. ....	15
Figura 3: Distribución de la energía incorporada en un edificio. ....	15
Figura 4: Requerimientos energéticos para manufacturar y producir materiales para la construcción. ....	16
Figura 5: Principio Rector del Diseño Sostenible. ....	18
Figura 6: Extensión de ciclo de vida de un edificio. ....	19
Figura 7: Ciclo combinado de los materiales. ....	20
Figura 8: Elementos de una vivienda. ....	21
Figura 9: Diferentes escenarios de configuración para el mismo espacio. ....	23
Figura 10: Diagrama de secuencias. ....	24
Figura 11: Número de secuencias en la utilización del edificio. ....	24
Figura 12: Relevancia de diseño flexible. ....	25
Figura 13: Frecuencia de cambios en los elementos del edificio. ....	27
Figura 14: Dependencia entre sistema técnico y especial. ....	28
Figura 15: Ciclo de vida funcional. ....	29
Figura 16: Ciclo de vida técnico. ....	30
Figura 17: Ciclo de vida económico del edificio. ....	30
Figura 18: Reutilización de elementos exteriores, interiores y mecánicos. ....	32
Figura 19: Edificio Fun Palace, Cedric Price 1961. ....	34
Figura 20: Walking City, Archigram 1964. ....	35
Figura 21: The Nakagin Capsule Tower, Kisho Kurokawa, 1972. ....	36
Figura 22: Suitaloon, Mike Webb, 1967. ....	36
Figura 23: Mobile House, Future Systems, 1979. ....	37
Figura 24: Ski-House, Richard Horden, 1995. ....	37
Figura 25: Centro George Pompidou, Richard Rogers y Renzo Piano, 1976. ....	38
Figura 26: Lloyd's Bank, Richard Rogers, 1984. ....	38
Figura 27: Shanghai Bank, Norman Foster, 1986. ....	39
Figura 28: Construcción lineal. ....	40
Figura 29: Cierre del ciclo de vida de un edificio. ....	41
Figura 30: Descomposición de la geometría en forma Fractal. ....	44
Figura 31: Determinación dimensional de un componente generado por fractales. ....	45
Figura 32: Diseño de una placa de acero corrugado. ....	45
Figura 33: Izquierda: edificio rígido, centro: edificio en parte desmontable, derecha: edificio flexible. ....	46
Figura 34: Jerarquía de niveles del edificio. ....	48
Figura 35: Capas compartidas de construcción y su ciclo de vida. ....	48
Figura 36: Elementos del módulo. ....	50
Figura 37: Materialización del módulo. ....	51
Figura 38: El edificio construido con módulos. ....	51
Figura 39: Habitat 67, Montreal, Canadá. ....	52
Figura 40: Diferentes configuraciones en el mismo espacio. ....	54
Figura 41: Smart House, Holanda. ....	58
Figura 42: Armado paralelo de elementos. ....	58
Figura 43: Estructura flexible. ....	59
Figura 44: Material de los elementos. ....	59
Figura 45: Indicadores del edificio. ....	60
Figura 46: Factores del edificio. ....	61
Figura 47: Escenarios del edificio. ....	62
Figura 48: Conexión integral. ....	64
Figura 49: Conexión superpuesta (overlapped) ....	64
Figura 50: Conexión interconectada (interlocked) ....	65
Figura 51: Conexión indirecta interna. ....	65

Figura 52: Conexión indirecta interna. ....	66
Figura 53: Conexiones indirectas; tornillo y cierre giratorio (twistlock) ....	66
Figura 54: Conexiones rígidas. ....	67
Figura 55: Tipología de conexiones; de rígidas a flexibles. ....	68
Figura 56: Porcentaje de acero estructural reciclado. ....	71
Figura 57: Porcentaje de acero de refuerzo reciclado. ....	71
Figura 58: Formas clásicas de construcción. ....	74
Figura 59: Módulo de madera. ....	75
Figura 60: Módulo de hormigón. ....	76
Figura 61: Módulo de acero. ....	76
Figura 62: Sistemas cerrados. ....	79
Figura 63: Panel de hormigón. ....	79
Figura 64: Continuidad de elementos (paneles) ....	80
Figura 65: Sistema encofrado túnel. ....	80
Figura 66: Módulo de hormigón. ....	81
Figura 67: Sistemas abiertos. ....	81
Figura 68: Requerimientos y criterios de diseño en los edificio flexibles. ....	87
Figura 69: Aspectos de los edificios deconstruibles. ....	88
Figura 70: Adaptación de un refugio. ....	89
Figura 71: Refugio efímero y constructivo. ....	90
Figura 72: Casa R-128. Werner Sobek. ....	91
Figura 73: Plantas arquitectónicas de la casa R-128. ....	92
Figura 74: Estructura de la casa R-128. ....	93
Figura 75: Ductos de instalación, de la casa R-128. ....	93
Figura 76: Esquema de conexión, casa R-128. ....	94
Figura 77: Casa Kyoto en Lleida, España. ....	95
Figura 78: Plantas arquitectónicas, casa Kyoto. ....	95
Figura 79: Elemento atornillados. ....	96
Figura 80: Twistlock y base esquinero. ....	97
Figura 81: Elementos del contenedor de transporte. ....	97
Figura 82: Contenedor Dry Van. ....	98
Figura 83: Contenedor High Cube. ....	98
Figura 84: Contenedor Reefer. ....	99
Figura 85: Contenedor Open Top. ....	99
Figura 86: Contenedor Flat Rack. ....	99
Figura 87: Contenedor Dry Bulk. ....	100
Figura 88: Contenedor Cisterna. ....	100
Figura 89: Almacén de contenedores. ....	101
Figura 90: R4 House, Luís de Garrido. ....	102

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de cambio en un edificio construido. ....	26
Tabla 2: Aspectos para la adaptabilidad y deconstrucción. ....	55
Tabla 3: Análisis de diferentes esquemas de ensamble. ....	57
Tabla 4: Tipología de estructuras. ....	73
Tabla 5: Principios aplicados a la prefabricación. ....	83
Tabla 6: Comparativo de los aspectos económicos, ambientales y sociales de la prefabricación versus construcción en sitio. ....	85

## GLOSARIO

### CICLO DE VIDA CÍCLICO

Se llama al proceso: de extracción de recursos para fabricar materiales constructivos, transportarlos al lugar en el que se utilizarán y cumplirán su función por determinado tiempo, después se recuperarán para reintroducirse en la cadena productiva vertiendo lo mínimo al suelo a través de la reparación, reutilización y reciclaje.

### CICLO DE VIDA LINEAL

Se llama al proceso: de extracción de recursos para fabricar materiales constructivos, transportarlos al lugar en el que se utilizaran y cumplirán una función por determinado tiempo, y finalmente se demolerán para verse al suelo.

### CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA

Sistema constructivo basado en el diseño de producción automatizado de componentes, sistemas y subsistemas elaborados en serie, y después de su fase de armado conforman todo o una parte de un edificio o construcción. Toda su operación se realiza en una fabrica y se entrega, en muchos casos, terminado en el sitio de construcción.

### CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL

Construcción en el sitio para formas espacios habitables o edificios. Se llama tradicional porque se utilizan métodos utilizados desde siempre, y realizada por mano de obra artesanal.

### DESARROLLO SOSTENIBLE

Capacidad de recursos de la sociedad actual para satisfacer sus necesidades, económicas, sociales y ambientales, sin comprometer los mismo recursos de la sociedad futura.

## PREFACIO

Esta investigación propone conceptos, que hasta ahora no había observado en la construcción moderna, como son: adaptación, industrialización de la vivienda prefabricación, deconstrucción, reutilización, recuperación, reciclaje, etc. Como tal, este trabajo no es la única vía posible para la construcción sostenible. De igual forma, tampoco propone que todo edificio se realice mediante este sistema, industrializado, modulado, deconstruible, y que se sustituya por completo a la construcción tradicional.

Varios principios han sido los que originaron esta investigación, entre ellos el impacto ambiental ocasionado por la construcción moderna, la necesidad de nuevas construcciones a bajo coste, experimentar con nuevas formas de construcción a través de la reutilización de elementos, materiales, etc. En general, buscar algún método que permitiese compaginar el diseño y la edificación en el desarrollo sostenible.

Hace algunos años, estudiando arquitectura, tuve el primer contacto con temas como desarrollo sostenible, análisis de ciclo de vida, nuevos conceptos y tipos de edificación, reutilización, reciclaje, etc. y surgió la idea de profundizar en esos temas, pero que no eran relevantes para mi desarrollo. Ahora, al estudiar el Master en Edificación en la EPSEB, la línea de tecnología llamó ese interés por estos temas, que ayudado por las distintas asignaturas, he podido entenderlos de mejor forma.

Toda mi vida profesional he tenido un lema que es, ver un edificio vivo. Esto se traduce como la construcción de un edificio que pueda nacer, crecer, reproducirse y morir; que impacte al mínimo en el ambiente o impacte en lo opuesto, es decir, generando consecuencias reparadoras, positivas y productivas al medio ambiente, a la sociedad y a la economía.

Esto puede ser una utopía y como tal, esta investigación debe promover a los futuros lectores la experimentación del sistema, como una posible solución, a las muchas que hay, para lograr una edificación, en lo posible, sostenible.

## INTRODUCCIÓN

El mundo y la sociedad se enfrentan a grandes retos en la actualidad, La sociedad ha avanzando de forma exponencial desde la revolución industrial, disfrutando de un mayor nivel de vida y exigiendo que dichos niveles se incrementen de forma constante. La sociedad consumista no ha deseado sacrificar nada y tener siempre lo mejor; lo anterior, ha provocado que al final de este proceso desordenado de crecimiento se alcance esta prosperidad sin tener en cuenta las consecuencias.

El aumento desmedido de la población ha demandado mayor energía así como el uso más materiales, lo cual ha agravado los efectos sobre el medioambiente, que en la actualidad provoca enfrentamientos cara a cara con los efectos negativos sobre los vectores contaminantes y ambientales. El planeta está iniciando a demostrar que no es invencible, puesto que entre muchos factores, los más usuales de su declinamiento son entre otro el llamado calentamiento global, las limitaciones de espacio disponibles o vírgenes y el agotamiento de los recursos naturales. Esta explotación ha puesto a prueba nuestras condiciones sociales hasta el punto de que muchos aseguran que el nivel de vida con que se cuenta en la actualidad es de menor calidad de lo que se solía tener.

Se trata de problemas reales que se están abordando en todos los aspectos de la vida. Todas las facciones jerárquicas de la sociedad están trabajando frenéticamente para llegar a ser sostenibles y corregir los problemas creados a partir de nuestro pasado desenfrenado. No obstante lo anterior, la sociedad sigue siendo una sociedad que trabaja para aumentar los niveles de vida, pero en esta ocasión es, bajo el concepto de crecimiento sostenible.

La sostenibilidad es una palabra de la que se abusa todos los días porque es difícil de definir y mucho menos resolver, pero como profesionales de la construcción puede solo funcionar para arreglar los problemas creados por el entorno construido, por tanto, es un aspecto que los profesionales de la construcción tienen la oportunidad para su corrección; y la realidad del sector es que las edificaciones no duran para siempre, con el tiempo se vuelven obsoletas y necesitan ser reemplazadas.

Grandes cantidades de dinero, recursos naturales y energía se destinan en los vertederos al final del ciclo de vida de un edificio, algunas estimaciones consideran que el 60% del flujo de materiales, excluyendo combustibles y alimentos (en los Estados Unidos) es consumido por la industria de la construcción. Lo anterior, es una prueba de la afectación que se hace en el medio ambiente construido.

Nuestra sociedad necesita construir nuevos lugares para vivir y trabajar, en general, se reconoce que construir un edificio es sinónimo de consumo energético y de recursos; sin embargo, existe confusión en lo que significa hacer sostenible a la edificación, sostenible es utilizar materiales de los llamados verdes y hasta cierto punto renovables (como madera). Sin embargo no se le da la importancia suficiente en el estudio previo, ya que es, en esa etapa donde se puede prevenir el uso excesivo de materiales.

También los nuevos estándares de calidad y cambios en la necesidad de los edificios, exigen la utilización de materiales acordes con el ambiente. Dichos estándares y cambios de necesidad en los edificios se refieren a ser renovados, rehabilitados o en el último de los casos demolidos.

Por ejemplo, un edificio residencial puede ser convertido en un espacio amplio de oficinas. Estas rehabilitaciones o renovaciones son las que utilizan más recursos energéticos y por defecto generan más desechos constructivos; lo anterior es porque

en estas actuaciones existe ineludiblemente la demolición. Otro ejemplo puede ser el caso de las fachadas, donde solo una parte se mantiene intacta, mientras que lo demás es demolido, y por lo tanto la mejor solución a toda esta situación debería ser la deconstrucción.

Deconstrucción, es un método que consiste en recuperar parte, o la mayoría de los componentes del edificio, permitiendo con ello reutilizar los elementos en otro sitio donde puedan colocarse para ampliar su existencia. Como quiera que sea esta actividad, requiere el diseño previo de la estructura, prolongando así el ciclo de vida de los elementos. De esta forma, el objetivo del Diseño Sostenible es integrar un diseño flexible, que permita con ello reducir el impacto ambiental en la construcción del nuevo, rehabilitado, reformado o reconstruido edificio, para adaptarse a las nuevas configuraciones o cambios en el espacio habitable.

Actualmente, las funciones del edificio son dependientes entre si, desde la estructura, envolvente, servicios, hasta las divisiones espaciales, es decir, un ente monolítico completo. Esto quiere decir que las edificaciones actuales son consideradas estáticas, definidas por una serie de elementos rígidos, cerrados, no permitiendo con ello adaptarse a las nuevas exigencias y que al someterse a los nuevos requerimientos y funciones, donde la separación de dichos elementos o componentes es casi imposible, dejan únicamente viable la opción de la demolición.

El diseño actual de los edificios ha sido un proceso lineal que ha ocasionado la rigidez en sus componentes y elementos, por lo que cualquier modificación resulta compleja provocando demoliciones parciales que generan desechos y costes significativos, así mismo requiere el análisis de expertos para las nuevas adaptaciones.

Este trabajo presenta una posible respuesta a este problema, diseñar para adaptar y deconstruir. El objetivo de esta investigación se delimita en el diseño de elementos, componentes estructurales, que permitan a los edificios residenciales, comerciales e industriales, menores a tres niveles, adaptarse a nuevas necesidades y exigencias; y que al final de su utilización pueda extenderse el ciclo de vida de cada elemento y componte del edificio.

Esta investigación se explica en el reuso de elementos y componentes, que hasta ahora no se habían promovido y que es una posible solución para disminuir el impacto ambiental de la construcción.

También, se incluye en su desarrollo el impacto ambiental que ha generado el sector constructivo, el coste en incentivo que representaría diseñar edificios deconstruibles, así como promover la reutilización de sus elementos.

Así mismo, en las siguientes secciones, se explicarán las teorías, antecedentes y objetivos que permiten la exposición ordenada del contenido temático en su conjunto

En el tercer apartado del trabajo, se ha desarrollado para presentar el enfoque al respecto de las conexiones, tipologías constructivas, materiales, etc., para lograr la construcción flexible y adaptable.

La cuarta sección del trabajo, se ha reservado par realizar el análisis de tres casos documentados de la construcción flexible y la adaptabilidad, exponiéndose en éste, edificaciones de elementos panelizados, prefabricados y del tipo container; finalmente, se presentan unas conclusiones y recomendaciones al respecto de todo el trabajo realizado y analizado.



# 1 CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

## 1.1 IMPACTO AMBIENTAL

Desde los años 60 los científicos han alertando a la sociedad de que el planeta está sufriendo cambios por la excesiva explotación de recursos y consumo de energía utilizado para vivir, por lo que se tendrán que buscar nuevas formas de proteger dichos recursos para sobrevivir y proteger al planeta. Lo anterior fue documentado por el hecho de que el clima estaba cambiando por el aumento de las emisiones contaminantes CO<sub>2</sub> a la atmósfera. El Océano Ártico ha incrementado su deshielo lo que provocaría inundaciones inmediatas irreversibles, así mismo, los bosques están desapareciendo rápidamente cada año y seguirán en aumento.

Estos ejemplos indican directamente los cambios en el planeta, y causados principalmente por la producción industrial y la moderna forma de vida, se están aconteciendo.

En 1978 se proponen una serie de requisitos en el informe Brundtland, que fueron vistos como un ataque contra el pensamiento práctico y convencional; sin embargo se reconocía que era suicida permitir el deterioro continuo y en aumentos de los sistemas ecológicos para el soporte del ser humano.

Sin embargo, no fue si no hasta 1987 en la publicación del primer ministro noruego “Nuestro futuro común”, que fue reconocido y tomado en cuenta el concepto sostenibilidad como una misión ineludible y conjunta de la sociedad humana mundial.

Por lo tanto, en esta cumbre, se llegaron acuerdos a nivel mundial para contrarrestar dichos efectos negativos y lograr un desarrollo sostenible que proteja la integridad ecológica a largo plazo y que con el tiempo se mejore la calidad de vida. Ha sido difícil, teniendo en cuenta que la prosperidad económica de la sociedad se basa en los sistemas industriales que consumen grandes cantidades de energía, recursos materiales y producen contaminación además de provocar la pérdida de biodiversidad.

La evidencia científica indica claramente que el planeta ha estado en peligro en muchos frentes. El calentamiento global y el agotamiento de la capa de ozono causada por las emisiones de gases, la deforestación, degradación del suelo y la contaminación del agua son algunos ejemplos de los graves daños ambientales.

El sector de la construcción, es una de las mayores industrias en términos de inversión, empleo y contribución al desarrollo de los países; pero también es, una industria que contribuye en su mayoría con más del 10% del producto nacional bruto de los países. Se estima que dicha industria tiene más de 111 millones de empleos al rededor del mundo, así que es el mayor generador de empleos.

Por otra parte, cerca del 50% de todo el territorio en la tierra ha sido modificado para las actividades humanas y más del 50% de la población humana vive en núcleos urbanos. Por lo tanto, su impacto en el medio ambiente es considerable, y sobre todo, en el uso de la energía, en la degradación del suelo, en la pérdida de tierras agrícolas, bosques y tierras silvestres, en la afectación del aire, en la contaminación del agua y en el agotamiento las fuentes de energía no renovables y uso de los minerales.

Así mismo, este sector constructivo representa el 50% de las emisiones globales de gas invernadero, lo que convierte a este sector en el que mayor contribuye a la afectación ambiental.



Esta industria, ya ha asumido el reto de adoptar y aplicar los principios de construcción sostenible, por lo que está en camino hacia el cumplimiento de su responsabilidad ambiental. También, dicha industria ha aprovechado los avances en áreas de energía incorporada, activas y pasivas de diseño solar, mejor eficiencia térmica de los materiales y componentes, el reciclado de materiales y la gestión de sus residuos.

Estos avances están orientados a conseguir mejoras en el rendimiento sostenible de cada unidad de los nuevos edificios. Sin embargo, con el aumento de la población y el crecimiento del consumo, será necesario construir más edificios para satisfacer la creciente demanda.

La industria de la construcción tiene un impacto significativo sobre el medio ambiente a través de un amplio espectro de sus actividades libremente agrupados fuera del sitio de la construcción (desde la cuna), en las instalaciones y en su funcionamiento (hasta la tumba).

Las actividades fuera del edificio incluyen: la minería y la fabricación de materiales y componentes, el transporte de materiales y componentes, la adquisición de tierras; el proyecto, su definición y el diseño. Su impacto sobre el medio ambiente pueden llegar a ser importantes, sobre todo en las siguientes áreas:

- Consumo de recursos renovables y no renovables como los minerales, agua y madera para materiales de construcción y componentes. Esto también puede conducir a la pérdida de biodiversidad.
- Contaminación de aire, agua y suelo por la industria manufacturera y el transporte.
- Alienación de la tierra para una nueva instalación puede conducir a la deforestación, la pérdida de la agricultura, la tierra; la expansión de áreas urbanas con transporte que ocasionan problemas sociales, más demanda de agua, electricidad y otros servicios, y la pérdida de biodiversidad.
- Decisiones sobre el diseño del proyecto, objetivos, la construcción y operación de la instalación en áreas de uso de los recursos, la calidad del ambiente interior, asuntos de tráfico, el reciclaje, la gestión de residuos, el mantenimiento y la vida de la instalación, así como sociales en el medioambiente.

Las actividades de construcción en el sitio, están relacionadas con la construcción del edificio mismo, su impacto se puede observar en la contaminación del aire, agua y suelo; así mismo, en el consumo de recursos en la construcción del edificio, en los problemas de tráfico relacionados con el sitio de la actividad, la generación de residuos de la construcción y la ausencia de reciclaje de materiales de construcción y componentes, así como la pérdida de la biodiversidad.

Por otra parte, las actividades operacionales son aquellas asociadas con la utilización del edificio e incluye su mantenimiento y demolición ó deconstrucción. Estas actividades tienen un impacto significativo sobre el medio ambiente en áreas tales como: energía y consumo de agua, la contaminación del aire, en los suelo, en los problemas de tráfico causados por el presencia física del edificio, en la entrada y salida del flujo de sus ocupantes, en la generación de residuos (alcantarillado, drenaje y basura), y en la calidad del aire interior.

El impacto ambiental ocasionado por la construcción, puede variar entre el 12-42%, en términos generales, y de forma específica, estos son: el uso de materias primas

(30%), energía (42%), agua (25%) y tierra (12%), las emisiones tales como las atmosféricas (40%), fluentes de agua (20%), residuos sólidos (25%) y otras liberaciones (13%).

Por ejemplo, la industria de la construcción en Estados Unidos (USA), ha tenido un impacto significativo en el medio ambiente por el consumo energético; en el campo socio-económico, el 8% en la fuerza laboral y 7% en el Producto Nacional Bruto, han sido así reportados.

En general, la edificación representa el 37% de la energía consumida en USA, 30% de las emisiones de gas invernadero (CO<sub>2</sub>), 30% del consumo de recursos naturales y 12% del consumo de agua potable. En cuanto a la producción de residuos de la construcción, las nuevas edificaciones impactan en un 8% (136 millones ton/año), reformas en un 40% y finalmente la demolición en un 48%.

Durante el siglo pasado, el consumo de recursos naturales ha ido en aumento debido a la creciente población y como consecuencia a la creciente demanda ésta ha pasado de 200 millones de toneladas métricas en 1905 a más de 3,600 millones de toneladas métricas al año 2006, lo anterior, puede ser visto en la siguiente Figura 1.

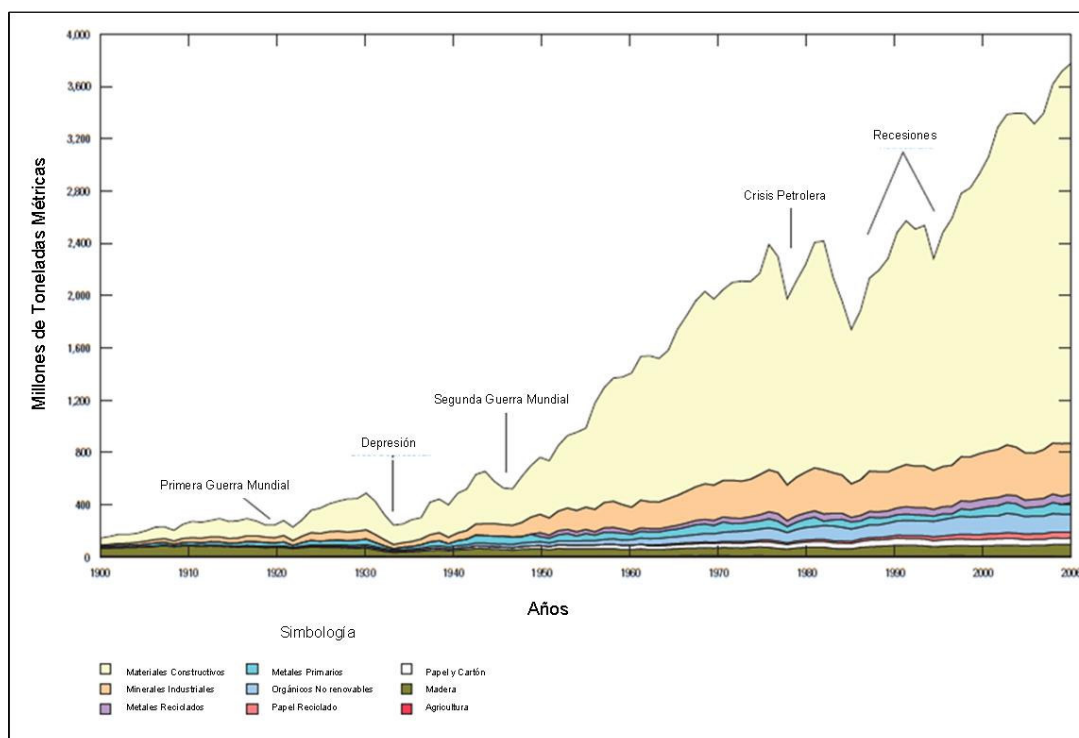


Figura 1: Explotación de Recursos Materiales en Estado Unidos.

Así mismo, la extracción de recursos materiales y su utilización para diversos objetivos también tienen un impacto significativo. La siguiente figura muestra la demanda de los distintos productos manufacturados en cada rubro. Ver Figura 2.

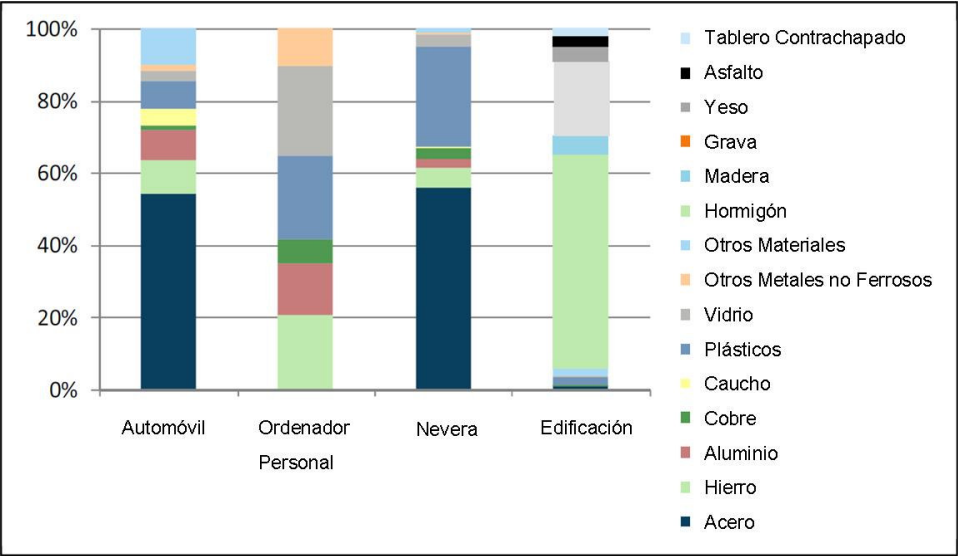


Figura 2: Utilización de materiales manufacturados.

Por otro lado, las emisiones de carbono emitido por los edificios (más de 700 millones de toneladas para el año 2000) son 60% más que los del transporte. Este enfoque puede ser justificado por el análisis de la distribución de la energía incorporada en un edificio. Ver Figura 3.

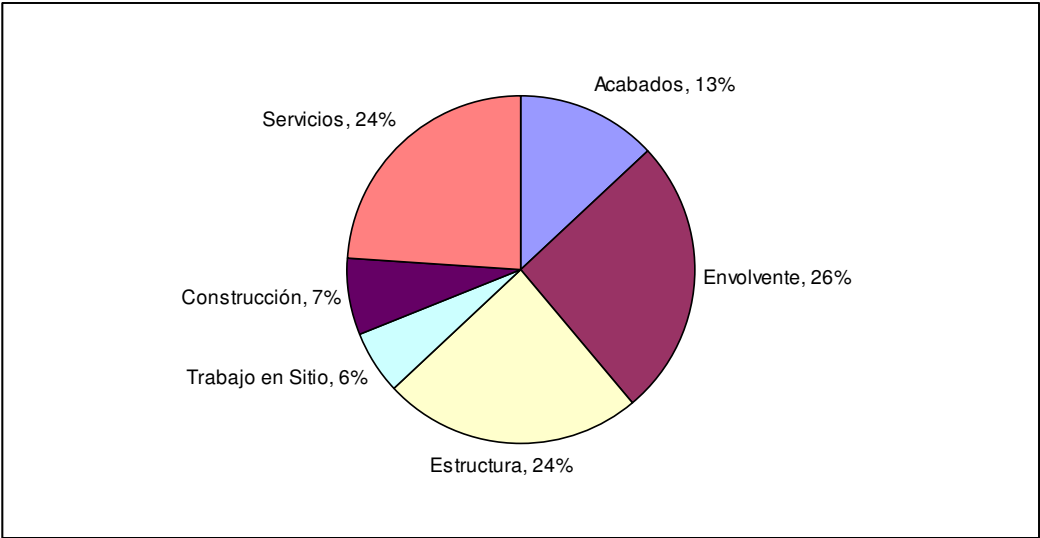


Figura 3: Distribución de la energía incorporada en un edificio.

De igual forma, la limitación de los residuos en la parte del proceso de construcción está relacionada desde el proceso de diseño y con la estructura del edificio; reduciendo éstos, se tendría un impacto positivo sobre el medio ambiente. De hecho, materiales estructurales, tales como el acero, un material ampliamente utilizado en la industria de la construcción, necesitan una fuente de energía importante para ser manufacturado, como se muestra en la siguiente Figura 4.

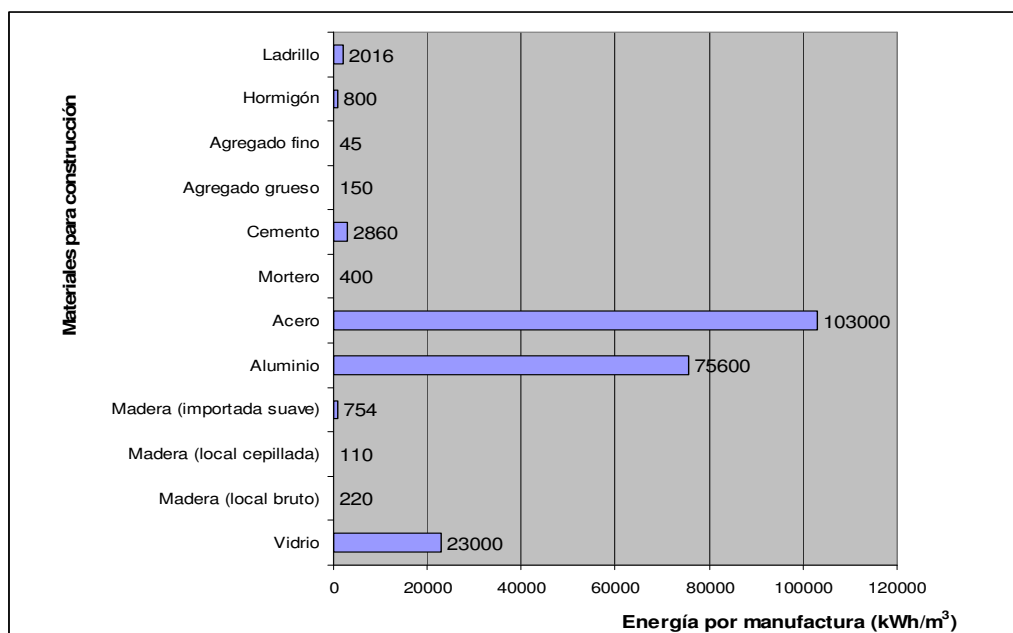


Figura 4: Requerimientos energéticos para manufacturar y producir materiales para la construcción.

El consumo de energía relacionado con las actividades de construcción es relativamente bajo. En Australia, por ejemplo, es alrededor del 1% del total nacional y en comparación con Dinamarca, se midió en tan solo el 3%. Por otra parte, el transporte por carretera de mercancías para la construcción consume una cantidad significativa de energía. En Dinamarca, la cifra es de alrededor del 45% del total nacional de transportes. Cuando interpolados, esto puede representar alrededor del 10-15% del consumo total de energía del país. El funcionamiento de los edificios también consume una cantidad significativa de energía en el mantenimiento de un ambiente interior confortable, que representa para este caso en específico alrededor del 46% del total consumo de energía.

Un subproducto del consumo de energía es la emisión de gases de efecto invernadero, en particular CO<sub>2</sub>. Se expresa que la proporción de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> resultantes de la explotación de edificios en el Reino Unido está en el orden del 48%. La emisión total de CO<sub>2</sub> de la industria de la construcción sería sustancialmente mayor si las emisiones causadas por la minería, la manufactura y el transporte de los materiales de construcción, así como las actividades de construcción fueran incluidas.

Para el caso de España, el impacto ambiental por parte del sector de la construcción supone un 32% de consumo energético no renovable, 30% de emisiones efecto invernadero CO<sub>2</sub>, 24% en extracción de recursos naturales, 17% de agua potable consumida y entre el 30% a 40% de residuos sólidos procedentes de la construcción.

En realidad, la práctica diaria nos muestra que la transformación de los edificios siempre significa generación de residuos; esto es, que el impacto ambiental por parte de la sociedad actual y del mercado económico está relacionado directamente con grandes volúmenes de desechos sólidos que son vertidos en rellenos sanitarios o por el contrario son incinerados mediante quema y generando energía, emitiendo CO<sub>2</sub>, generando ruido, etc.

La generación de residuos se debe a los procesos de producción ineficientes, baja durabilidad y un diseño inadecuado de los materiales, que no cumplen con las expectativas de vida y la seguridad del usuario final. De hecho, el diseño actual no tiene en cuenta los cambios sociales, tales como el envejecimiento de la población o la reducción del tamaño medio de la familia.

En otras palabras el impacto ambiental se refleja de distintas formas, en los procesos industriales de extracción y fabricación de materiales, en la energía consumida por el transporte y por la utilización del mismo edificio, y finalmente la generación de residuos en el derribo de los edificios. Entre esas distintas formas se puede citar:

- La ecotoxicidad y toxicidad humana causada por las emisiones de sulfuro, óxido de nitrógeno, amoníaco y metales pesados, que por medio de la precipitación en lluvia ácida, aumenta la acidificación del suelo y del agua.
- Actualmente y de manera controlada, la reducción de la capa de ozono por la liberación de gases CFC (clorofluorocarbonos) y HCFC (hidroclorofluorocarbonos) que forman parte de líquidos refrigerantes, extintores e impulsores de aerosol.
- La eutrofización, que es el desequilibrio de nutrientes en un ecosistema acuático, causado por emisiones y vertidos de compuestos ricos en nitrógeno y fósforo en la tierra y agua.
- El smog formado por emisiones de dióxido de carbono, partículas sólidas y dióxido de sulfuro liberadas por la combustión del carbón.

La industria de la construcción es un importante consumidor de energía y materias primas, también es un importante consumidor de otros recursos como la tierra y el agua. A medida que la población crece, las necesidades de viviendas aumentan, se requieren productos de la industria, producción de alimentos, mayor red de transporte, infraestructuras diversas, y servicios en general.

Por ejemplo, en España la energía incorporada que se consume en la fabricación de materiales para construir un metro cuadrado de edificación puede suponer unos 6.000 MJ (unos 1.670 kWh) que equivalen a unos 150 litros de gasolina. El uso del mismo edificio, en condiciones habituales durante un año puede llegar a los 500 MJ (140 kWh) que representan unos 12 litros de gasolina. Si consideramos que el ciclo de vida de un edificio sea de 50 años, sumando la extracción y producción de los materiales llegamos a un valor de 30.000 MJ/ m<sup>2</sup> (8.330 kWh/ m<sup>2</sup>) unos 755 litros de gasolina/ m<sup>2</sup>.

Otro impacto importante es la utilización del agua, por ejemplo en una vivienda convencional a diario se tiene un volumen promedio de 160 litros/ persona; de esto un 90% se utiliza para verter los residuos como desagües y el 10% restante se utiliza para cocinar o beber, aunque al final casi el 100% es residual teniendo que depurarse antes de volver al ciclo hidrológico para captarse.

También, los materiales para la construcción de un metro cuadrado de edificación habitable, estándar, es de unos 2.500 Kg que se ingresan a la obra. Esta cantidad incluye la cantidad de impactos incorporados y si sumamos el concepto de mochila ecológica (energía y residuos generados por la transformación de los recursos en

materiales) el valor real debería ser multiplicado por tres, por lo tanto la cantidad llegaría a 7.500 Kg/m<sup>2</sup>.

Así mismo, los residuos sólidos de la construcción actualmente equivalen a 3 Kg por persona/día, de los cuales solo se recicla el 10%. También los residuos domésticos generados suponen 1.7 Kg. con el reciclaje del 15% y finalmente el consumo energético de los edificios emite aproximadamente unos 2 Kg de gas CO<sub>2</sub>.

Finalmente, los procesos ineficientes de construcción afectan en todos los sentidos, tales como el social, el económico y el ambiental. Esto ha sido el resultado de las prácticas constructivas tradicionales, donde el objetivo edificatorio sea reducir costes, tiempos y calidades. En realidad, el problema radica en el hecho de que los desarrolladores, arquitectos, constructores, visualizan edificios estáticos (al menos para un uso único), pensando en que no necesitarán futuras adaptaciones, mejoras, ampliaciones, diversificación, etc. Figura 5.

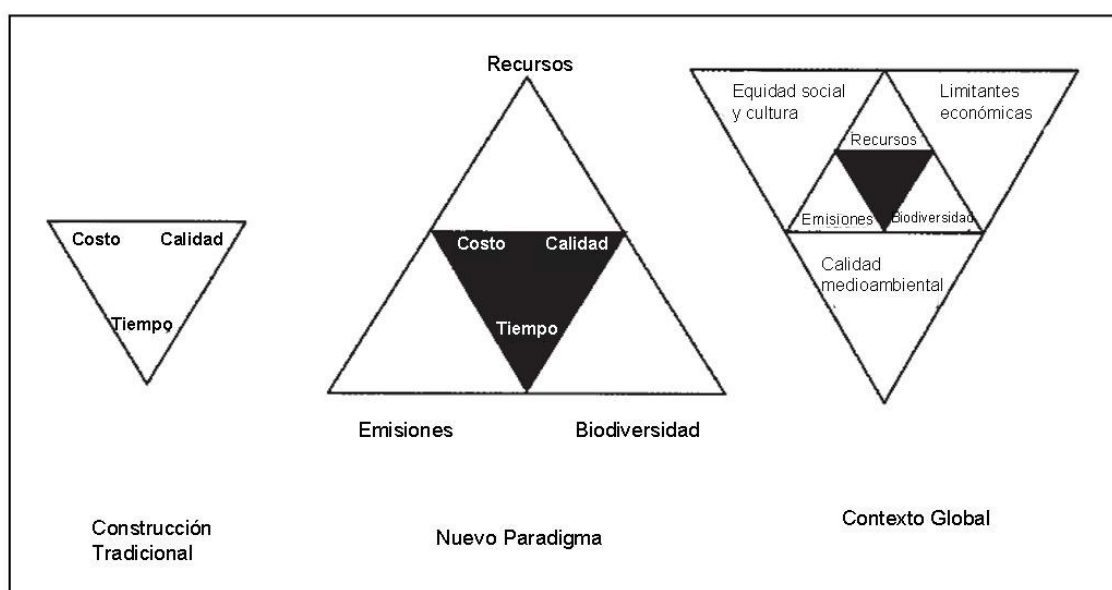


Figura 5: Principio Rector del Diseño Sostenible.

El principio rector del Diseño Sostenible es reducir la huella edificatoria en el medio ambiente, que tenga en cuenta en su diseño el tiempo, los cambios sociales, los aspectos económicos, y las normas ambientales. Hay varios cambios que se pueden hacer en el proceso de diseño para lograr este objetivo, y que son la adaptación y la deconstrucción de las edificaciones. Proporcionar un diseño sostenible que pueda seguir las evoluciones que caracterizan al cambio en la sociedad.

Por último, un mejor control del proceso de fabricación es también un punto clave para reducir la sobre explotación de materias primas y evitar emitir gases con efecto invernadero; de igual forma, también promover el análisis y utilización de materiales que permitan ir de un ciclo de vida lineal a ciclos de vida cíclico.

## 1.2 CICLO DE VIDA DE LOS MATERIALES

La palabra sostenibilidad es un término del que se abusa a diario, principalmente porque no sabemos en realidad que significa, o lo que es preocupante, no sabemos cómo se resuelve; siendo peor aún cuando intentamos entender dicho concepto como un problema social sin tomar en cuenta los aspectos constructivos.

Con esto podemos decir que en nuestro papel como arquitectos, ingenieros o constructores, podemos hacer mejor nuestra función, principalmente actuando en aspectos dentro del medio constructivo sostenible. Centrándonos en este aspecto, podríamos mejorarlo, y así mismo corregirlo; desafortunadamente, la realidad de nuestra arquitectura y construcción es que nuestras edificaciones no son para siempre (deberían a tender a serlo), con lo cual con el paso del tiempo se vuelven obsoletas, y necesitan mantenimiento o en su defecto tendrían que ser reemplazadas. Figura 6.

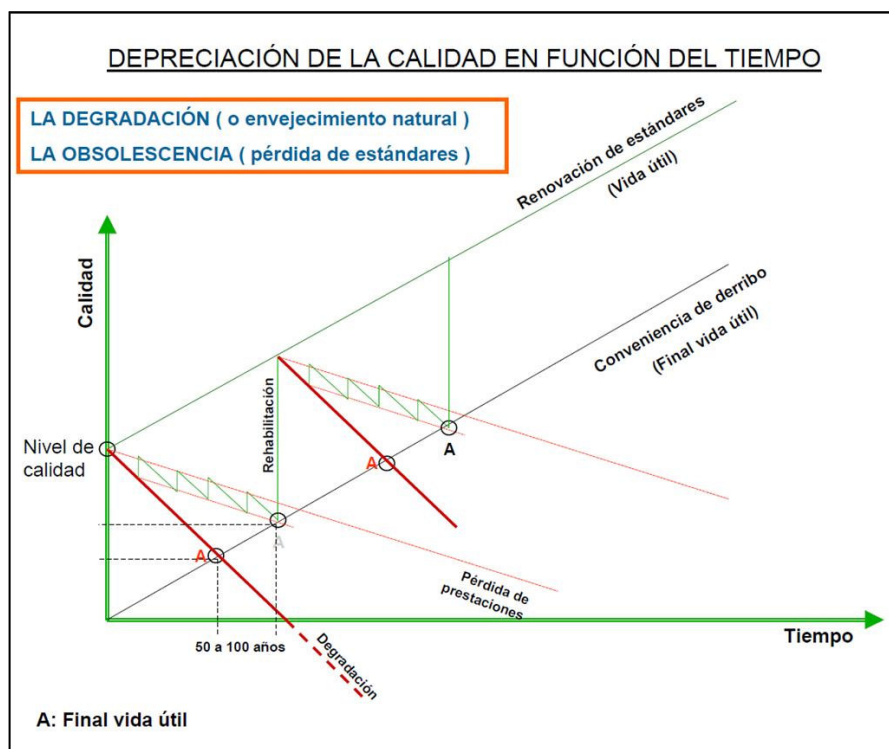


Figura 6: Extensión de ciclo de vida de un edificio.

Con lo anterior, se llega a realizar gastos importantes de dinero, se explotan recursos naturales vírgenes y minerales, así como a consumir energía para cumplir con las nuevas expectativas de vida del edificio. Por ejemplo, en Estados Unidos se estima que el 60% de explotación de recursos materiales son utilizados para la construcción, lo cual refrenda la enorme inversión que se hace en el entorno de la edificación.

Esto no es el problema más importante, si no que solo el 20 o 30% de los desechos constructivos que provienen de las demoliciones o reformas son originados como materiales reciclados; además, dichos materiales solo pueden ser reciclados una o dos veces, por lo tanto, no puede llamarse realmente reciclaje si más exactamente downcycling (ciclo bajo o material degradado) y el restante de los materiales que no entran en este ciclo, irán a formar parte de los rellenos sanitarios, en otras palabras, el 30 o 40% de los desechos sólidos vertidos en dichos rellenos provienen del sector constructivo.



Hay que diferenciar estos conceptos para saber realmente que se podría hacer con los materiales constructivos. Por lo tanto, se entiende por reciclaje como la recuperación de los materiales, en nuestro caso en particular (constructivos), para producir ese mismo material con las mismas características cualitativas y técnicas, por ejemplo el acero. Por otro lado el downcycle (ciclo bajo o material degradado) implica que al recuperar el material constructivo se convertirá en un material de menor valor cualitativo, y por lo tanto técnico también, es decir, se compromete la integridad de dichos materiales en su proceso de recuperación. Lo anterior significa que no podrá producir ese mismo material del cual se originó, por ejemplo hormigón triturado. Y finalmente el concepto upcycle (ciclo alto o material recuperado), se debe entender como la recuperación de material por medios industriales para convertirlos en materiales constructivos de mayor calidad técnica, por ejemplo el vidrio.

Lo anterior será siempre el planteamiento general del diseño sostenible, aprovechar el diseño desde la cuna hasta la tumba, con ello evitar que los materiales constructivos utilizados tengan un periodo limitado de vida y que al final sean vertidos en rellenos sanitarios como desechos. Ver Figura 7.

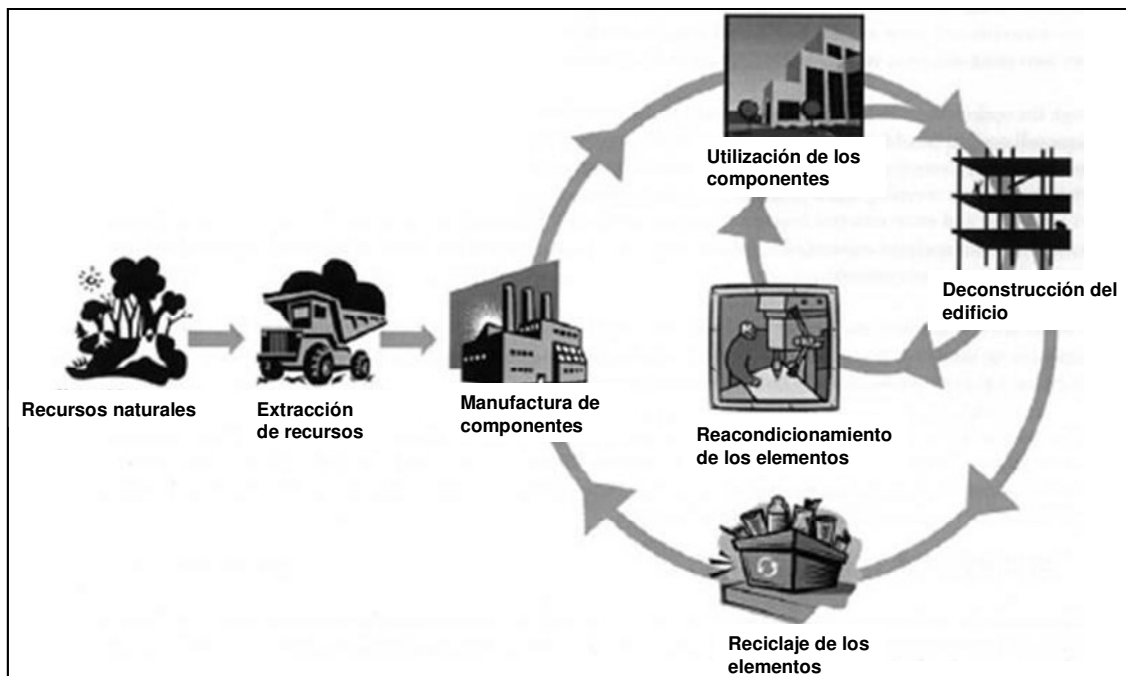


Figura 7: Ciclo combinado de los materiales.



El ciclo de vida de un edificio comienza en el proceso de diseño. El diseño de los edificios actuales son modelos para cumplir expectativas establecidas por el propietario; Por lo tanto, son el resultado de requisitos establecidos, con materiales establecidos que proceden de la explotación de los recursos de las materias primas, que son extraídos, transformados para adquirir diferentes tamaños, clasificaciones y usos. Una vez que las materias primas han sido extraídas, pasan por un proceso que los convierte en elementos de construcción. Ver Figura 8.

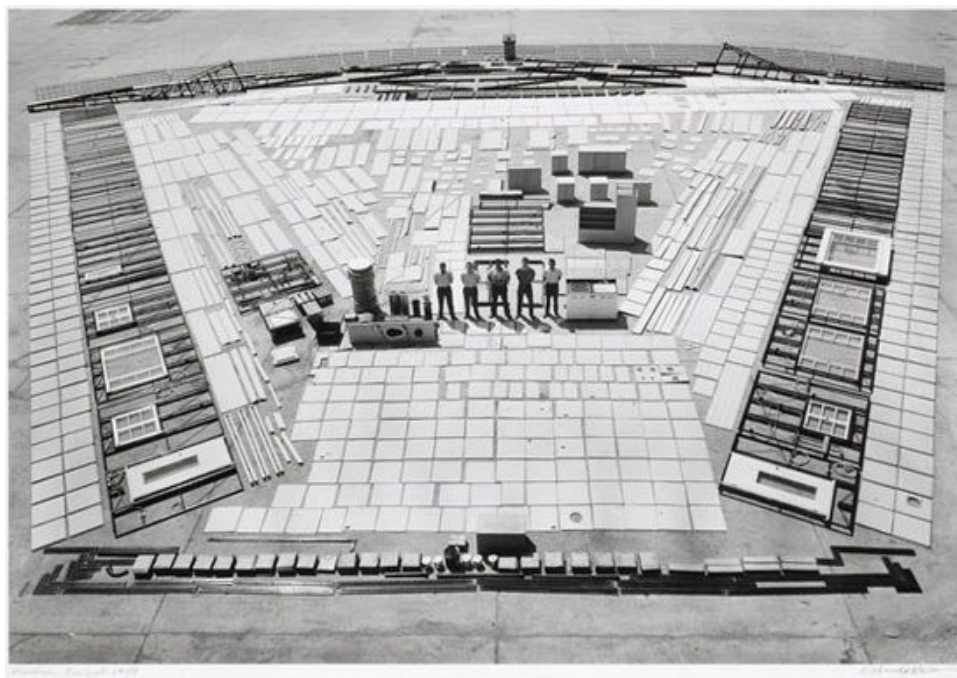


Figura 8: Elementos de una vivienda.

Existen varias opciones para dar salida a los elementos de construcción una vez que el edificio llega al final de su vida útil. En la literatura, se presentan siete posibles opciones. Cinco de éstas se refieren a la creación de nuevos componentes que pueden ser utilizados como rellenos o para ser depositados en vertederos, quemados, transformados en nuevos materiales, reciclados o reutilizados. Las otras dos soluciones son la de renovación o rehabilitación, y por último, la de reutilización del mismo edificio. Pero en realidad la solución usual puede corresponder a una combinación de ellas.

La primera opción es demoler el edificio y utilizarlo como relleno sanitario. Este método consiste en transportar el material de desecho a un lugar y depositarlo. La principal desventaja es que los materiales de construcción son considerados como residuos que no tienen valor y que requieren de energía para ser llevados y depositados en la zona de vertido. En consecuencia, su energía incorporada aumenta de nuevo durante esta fase, su ciclo se interrumpe, y si no son tratados, pueden dañar el medio ambiente contaminando el suelo, el agua y el aire.

La segunda opción de posible ciclo de vida de un edificio es incinerar parte de los componentes; al hacerlo, estos materiales son extraídos de su ciclo de vida, subsiguiente se generan emisiones de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, la energía utilizada para la combustión puede ser recuperada a través de calor.

La tercera opción del ciclo de vida de un edificio consiste en transformar parte de los componentes del edificio en nuevas materias para la construcción. Esto, presenta la

ventaja de no interrumpir el ciclo de vida de los materiales; sin embargo, supone un aporte de energía adicional ya que crean un nuevo stock (requerimiento) de insumos que alimenta el proceso de construcción y someten a los materiales a un nuevo ciclo.

La cuarta opción del ciclo de vida de un edificio es el reciclado de materiales, esta solución tiene como objetivo reciclar los componentes del edificio en un ciclo que permite usar el mismo material. Por lo tanto, un vidrio servirá para hacer vidrio reciclado. Las ventajas de este ciclo serán el poder insertar el mismo material al ciclo de vida del edificio. Por contra, la desventaja será compartida con las tres soluciones anteriores, estos es, la entrada adicional de energía en el ciclo mismo.

La quinta opción del ciclo de vida de un edificio consiste en la reutilización de los componentes del edificio después de haber pasado por un proceso también de mantenimiento. A los componentes se les asigna un papel similar para cumplir con objetivos similares. Este método o proceso, puede tener la ventaja de reducir la cantidad de energía necesaria para restablecer el componente en la industria de la construcción. Sin embargo, puede no ser el caso, y por lo tanto otra solución tendrá que ser elegida; así mismo, puede ocurrir que este proceso no sea rentable, y en cualquiera de los casos, dependerá de las necesidades especificadas de cada situación analizada.

La sexta opción de ciclo de vida de un edificio es la restauración o renovación del edificio. La anterior alternativa tiene la ventaja de poder salvar o rescatar algunas partes de la propia demolición. Sin embargo, a menudo ésta alternativa resulta ser cara porque los edificios no están diseñados para cumplir con este requisito, por lo que es necesario realizar estudios y experiencias previas a las distintas reformas que se propongan.

La última solución de ciclo de vida de un edificio, consiste en la reutilización el propio edificio (rehabilitación). Esta alternativa tiene la función de poder cambiar y adaptarse a las nuevas necesidades o requerimientos, que en cualquiera de los casos, el nuevo uso deberá implicar obras menores, y estas, sólo pueden lograrse si el diseño del edificio es así pensado, flexible.

Así pues, nuestra sociedad edifica de la cuna a la tumba, mientras que el medio natural se diseña de la cuna a la cuna. Lo que se trata de decir, es que se debe diseñar sin pensar en desechos constructivos y pensar en que estos mismos son parte de otro material para una nueva aplicación. Por otra parte, toda edificación tendrá que estar diseñada para reutilizarse, rehabilitarse, adaptarse, reciclarse o en su defecto reconstruirse con el objetivo de lograr el cero de desechos constructivos.

Esto expone que nuestra sociedad necesita construir y adaptarse a nuevas necesidades continuamente, con ello requiere construir nuevos espacios para habitarlos, requiere desplazarse, mejorar su trabajo, y siempre pensando en cualquiera de los casos, en mejorar sus edificios (su hábitat).

### 1.3 FLEXIBILIDAD Y ADAPTABILIDAD DE LOS EDIFICIOS

El diseño sostenible se refiere a la construcción de edificios que permitan gestionar su final de ciclo de vida eficientemente. Se asegura que el desmontaje de dicho edificio se facilite a fin de reducir la generación de residuos y maximizar la recuperación de sus componentes de alto valor así como los materiales para su reutilización y reciclaje.

Este proceso debe alentar a los constructores a diseñar edificios que sean flexibles a fin de garantizar el funcionamiento eficiente de la construcción, su mantenimiento así como su desmontaje; y con ello, a permitir una variedad de escenarios futuros para dicho edificio.

La clave para lograr un edificio realmente flexible y adaptable es la capacidad y facilidad para recuperar los componentes y materiales que lo conforman. Gran parte de las dificultades actuales con la deconstrucción vienen dados por la inflexibilidad e inadaptabilidad de su diseño, así como por las exigencias de las nuevas demandas. Por tanto, los edificios existentes al final de su ciclo de vida deberán ser vistos como nuevas fuentes de recurso para las nuevas edificaciones.

Los edificios actuales están diseñados y construidos para durar y satisfacer las necesidades de los usuarios. En términos técnicos, lo anterior quiere decir que se espera sean longevos. Dicha durabilidad del edificio está determinada por la capacidad del mismo para mantener la integridad estructural durante mucho tiempo, así como mantener su estilo, uso y función. Esta resistencia estructural se determina por la calidad de la propia construcción, es decir, la resistencia del material y los métodos constructivos utilizados, así como la durabilidad de los materiales empleados. Por el contrario, su funcionalidad se determina por la capacidad del edificio de adaptarse a las nuevas exigencias. Ver Figura 9.



Figura 9: Diferentes escenarios de configuración para el mismo espacio.

Los edificios que actualmente se construyen, están diseñados funcionalmente para resistir de forma práctica del orden de 50 a 75 años. Por lo que la recuperación económica respecto a la recuperación técnica de sus componentes es más corta. En cada fase de utilización el edificio demandará nuevos requisitos, así como una nueva organización espacial del conjunto arquitectónico; en general, esto implica cambios en el propio edificio. Por lo tanto, en cada fase de utilización se debe hacer una evaluación para indicar si dicho edificio es compatible con las nuevas demandas y, en caso contrario, indicar las consecuencias implicadas tanto técnicas como económicas que le permitan serlo.

El ciclo de vida de un edificio flexible depende de secuencias repetitivas de elementos, que van desde la materialización de los mismos hasta la transformación de los mismos

para reinsertarlos en el mismo proceso. El número de veces que se puede cerrar dicho circuito desde el diseño hasta la demolición o deconstrucción dependerá de las características técnicas y espaciales con la que fue concebida dicha estructura. En otras palabras, dependerá del diseño técnico y flexible del edificio. Ver Figura 10.

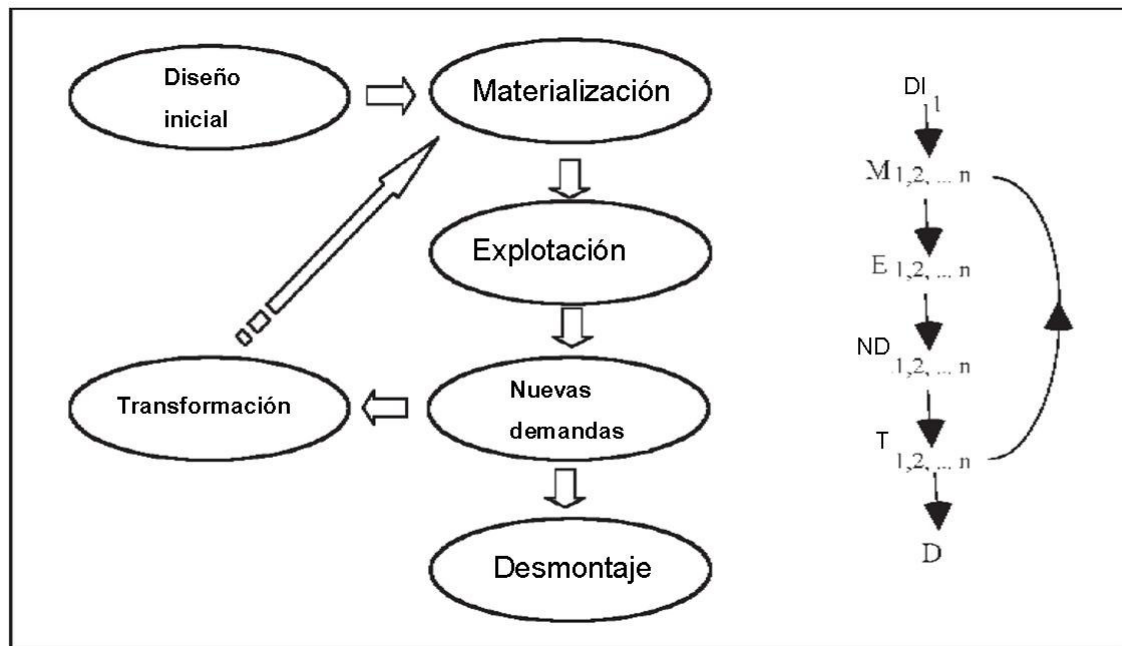


Figura 10: Diagrama de secuencias.

Así mismo, se representa el momento de toma de decisión sobre la utilización posterior del edificio; por lo tanto, si no hay una solución adecuada técnica o económica en función de las nuevas demandas, el edificio llegará al final de su ciclo de vida de forma irreversible. Ver Figura 11.

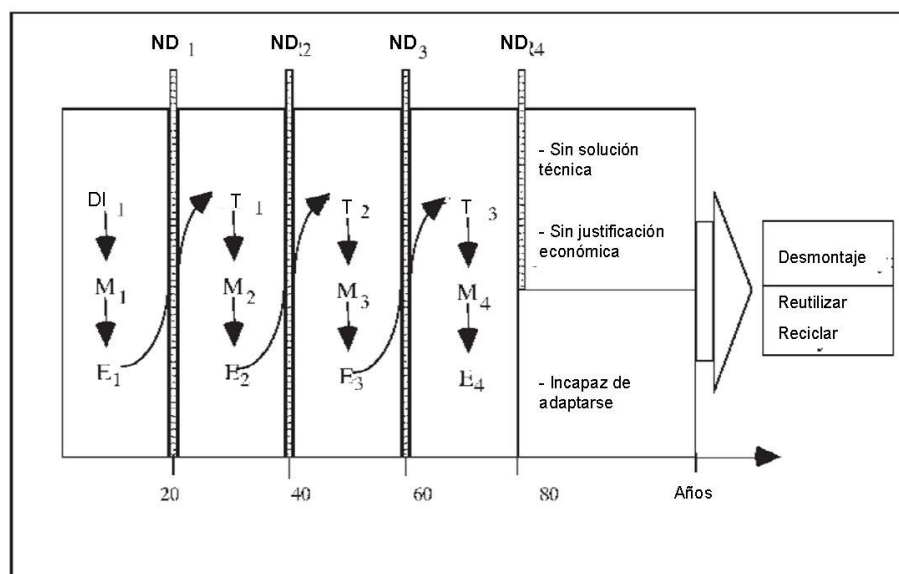


Figura 11: Número de secuencias en la utilización del edificio.

Los sistemas espaciales no pueden ser tratados de manera independiente a los sistemas técnicos, ya que las transformaciones espaciales están directamente relacionadas con la composición técnica del edificio. Por tanto, la flexibilidad espacial puede ser definida como:

- Extensible en términos espaciales.
- Divisorio para reconfigurar su espacio.
- Multifunción dentro del mismo espacio.

También la flexibilidad técnica se relaciona con la facilidad para: la intercambiabilidad, desplazamiento, reutilización y reciclado de los elementos y sistemas que definen al edificio; que pueden ser vistos esquemáticamente en la siguiente Figura 12.

- Accesibilidad.
- Reemplazo.
- Reconfiguración.
- Separación.

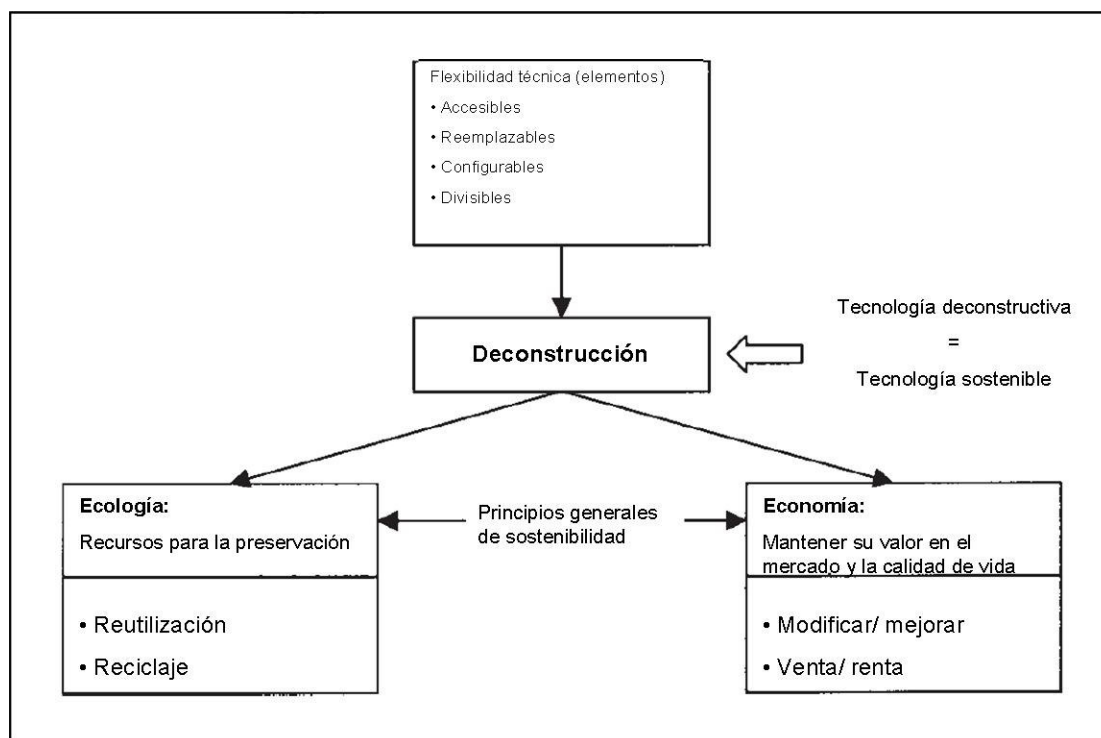


Figura 12: Relevancia de diseño flexible.

En general hay tres tipos de adaptaciones que el edificio puede experimentar durante su actualización, esta parte es un periodo crítico en la vida útil del edificio en términos de generación de residuos. Estos tres tipos de cambios han sido separados con el fin de comprender mejor sus necesidades específicas, sin embargo dependiendo de la magnitud de los cambios que se quiere llevar a cabo, estos pueden ser interdependientes.

El primer tipo de adaptación, es el cambio de uso del edificio con funciones que corresponden por ejemplo a la calefacción, al aire acondicionado, al aislamiento térmico y al acústico. Para estos cambios, uno puede adaptar el edificio mediante la mejora de su funcionalidad.

La mejora consiste en lograr el mismo objetivo de una manera más eficiente. Por ejemplo, el aislamiento acústico; para este caso es necesario reemplazar los componentes previos que cumplían con esta función. Las funciones también pueden ser modificadas introduciendo mejoras. Esto permite que el edificio cumpla con las nuevas expectativas, requerimientos o equipamiento. Este tipo de cambios se refiere principalmente a cambios en las clases de uso.

Seis clases de uso se pueden distinguir en función de si se trata de un edificio industrial, de viviendas, un almacén, un comercio, unas oficinas o una institución educativa. Un ejemplo de esto puede ser la reforma de una casa habitación y su transformación en un edificio de oficinas.

La segunda forma de adaptación está destinada a cambiar o reorganizar la capacidad del edificio o de su uso. El cambio en capacidad puede ser debido a las nuevas exigencias que se derivan de la evolución de las necesidades. Estas necesidades son diferentes de las que originaron el diseño del edificio. Este requisito de capacidad adicional también puede ser debido a los avances tecnológicos que llevan a la fabricación de nuevos equipos para lograr una mejor tarea. Otra razón es la nueva organización espacial, podría ser un ejemplo de que a esto se les puede aplicar una apertura de espacios para los edificios de oficinas.

El último tipo de cambios en un edificio se da en el diseño funcional, son los llamados ambiente interior y la circulación interior. El primero de estos es asociado al movimiento del aire, al reparto de la luz y al desplazamiento del sonido en el interior del edificio con respecto al exterior. El segundo cambio se refiere a la circulación de personas o cosas referidas a las escaleras, los ascensores, los elevadores para personas de movilidad reducida y a las habitaciones o pasillos de conexión. Finalmente la estructura del edificio tiene que apoyar estos cambios en la forma de evolucionar del mismo edificio por lo que tendrá que ser flexible. Ver Tabla 1.

Tabla 1: Tipos de cambio en un edificio construido

Tipo de cambio	Categoría	Responde a:
Funcionalidad	Mejorar las funciones existentes	Altos niveles de rendimiento que requieren diferentes componentes y procesos.
	Incorporar nuevas funciones	Nuevos objetivos facilitan el rendimiento que requieren de nuevos componentes y procesos.
	Modificarse para nuevas funciones	Diferentes objetivos por el cambio de uso que requieren de distintos componentes, procesos y sistemas.
Capacidad	Cambiar sus condiciones de carga	Altas expectativas de rendimiento bajo las condiciones específicas de carga.
	Cambio en volumen	Incremento de requerimientos en los espacios habitables por clase de uso.
Flujo	Cambio ambiental del espacio	Altos y diferentes requerimientos de rendimiento para las condiciones internas y medioambientales.
	Cambio en el flujo del espacio	Diferentes requerimientos de rendimiento para facilitar la circulación, movimiento y organización de las personas y cosas.



Los distintos cambios afectan a diferentes partes del edificio, pudiendo ser entre otros a la propia estructura, a los cerramientos, a los servicios o al acabado de los interiores. Una investigación al respecto, mostró que la estructura tiene que ser adaptada en un 64% y las reformas interiores en un 87%. Lo anterior, puede ser visto esquemáticamente en la siguiente Figura 13.

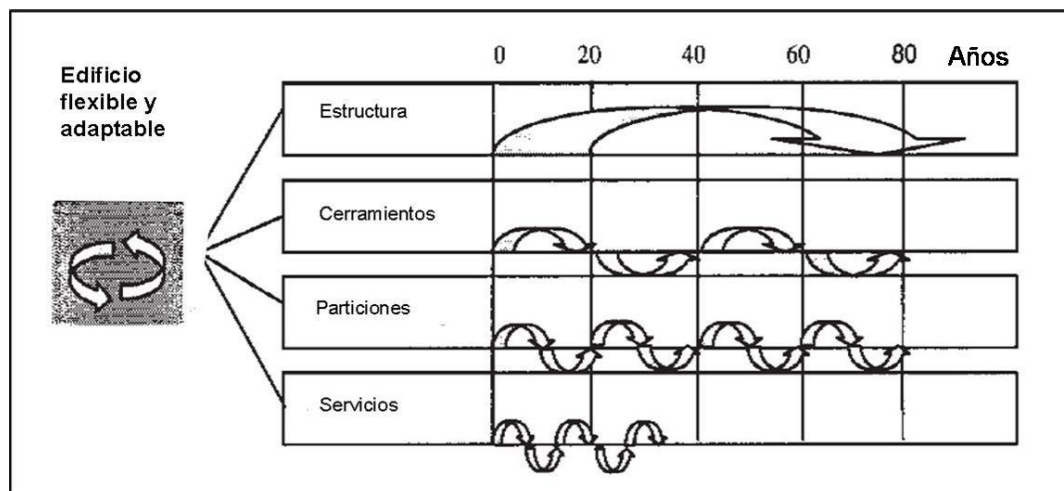


Figura 13: Frecuencia de cambios en los elementos del edificio.

El anterior esquema demuestra la importancia que tiene una estructura adaptable para reducir al mínimo la generación de residuos, la explotación de recursos naturales y a su vez prolongar la vida útil de los elementos que conforman la edificación.

Por lo tanto, el diseño, configuración y construcción de los edificios tienen que estar pensada ineludiblemente en la deconstrucción, en la posibilidad de poder ser desmontable y como tal ser flexible. Además, la flexibilidad técnica asociada a la deconstrucción podría ser vista como la clave principal para el diseño y construcción sostenible, no solo por la reutilización y posibilidad de reciclaje, sino también porque los edificios serán capaces de adaptarse a las nuevas tendencias, y de esta forma, adoptarse los nuevos avances tecnológicos, facilitando así la actualización de sus elementos y sistemas que lo conforman. Ver Figura 14.

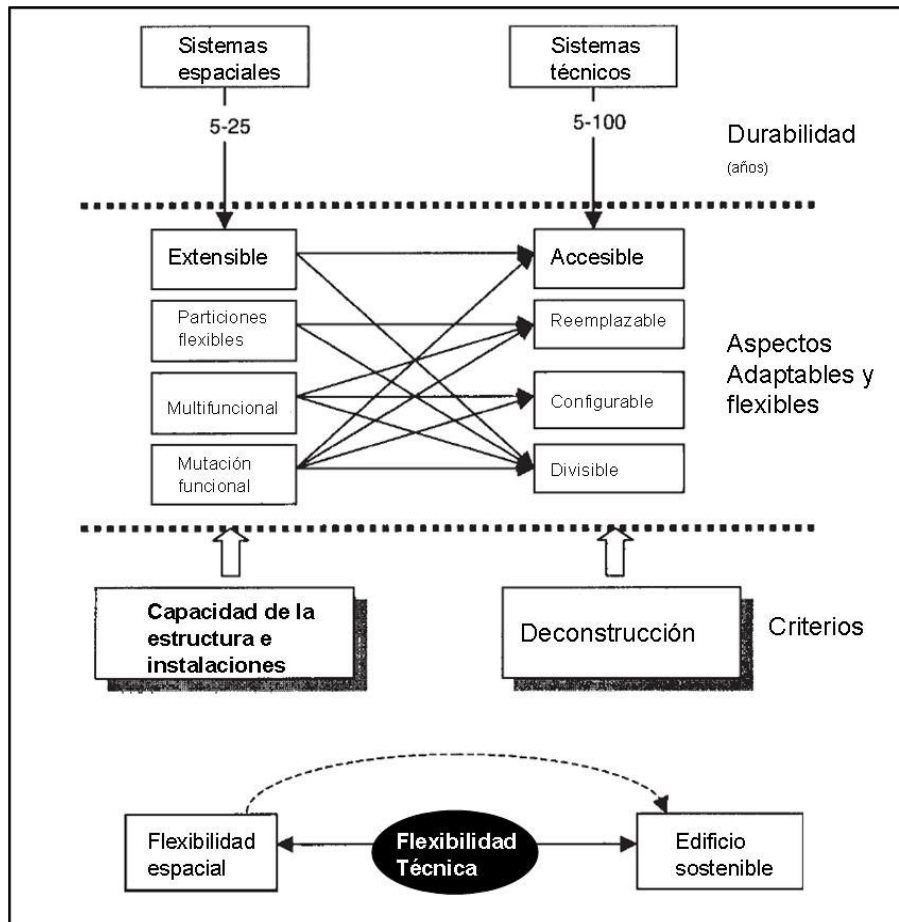


Figura 14: Dependencia entre sistema técnico y especial.

La figura anterior nos muestra como tienen que ser diseñados los nuevos edificios. Deberán contener sistemas espaciales que cumplan con características adaptables, que mucho dependerá de los sistemas técnicos que se utilicen, conexiones, elementos, etc. Por lo tanto los edificios que cumplan con flexibilidad técnica y espacial podrán ser edificios sostenibles.



## 1.4 COSTE INCENTIVO

La necesidad de un cambio económico ligado a lo constructivo se ha intentando desde finales del siglo XX. Ahora la libertad de elección de los usuarios es el lema de muchos propietarios y constructores, sin embargo, siguen a la espera de reducción en costes, los cuales, mucho tendrá que ver con las implicaciones de la edificación flexible.

En general, el ciclo de vida de la edificación actual es aproximadamente de 50 años. Sin embargo las construcciones solo están cumpliendo un ciclo mínimo de 15 años, siendo demolidas para dar paso a nuevas edificaciones. El ciclo de vida de los servicios técnicos y funcionales de un edificio está siendo cada vez más corto, provocando inversiones económicas frecuentes e importantes, ya sea para nuevas construcciones o para sus adaptaciones.

Por lo tanto, a fin de ampliar el ciclo de vida del edificio así como de sus componentes y elementos, éste deberá ser diseñado con el objetivo económico como una estrategia para reducir los costes de uso en el tiempo. Es decir, que el edificio tendrá que ser diseñado para su utilización a bajo coste a través del tiempo.

El ciclo de vida funcional se relaciona con el uso del edificio, mientras que el ciclo de vida técnico está determinado por el estado físico del edificio. La vida útil del edificio es el resultado del equilibrio entre la oferta (ciclo de vida técnico) y la demanda (ciclo de vida funcional). Así como en lo económico también es visto como el equilibrio entre oferta y demanda, el ciclo de vida económico termina cuando los requisitos funcionales no son adaptables a las especificaciones técnicas; lo anterior, causará acciones económicas tales como inversión en sustitución de elementos, reformas a nuevas demandas o en su defecto en la demolición del edificio. Ver Figura 15.

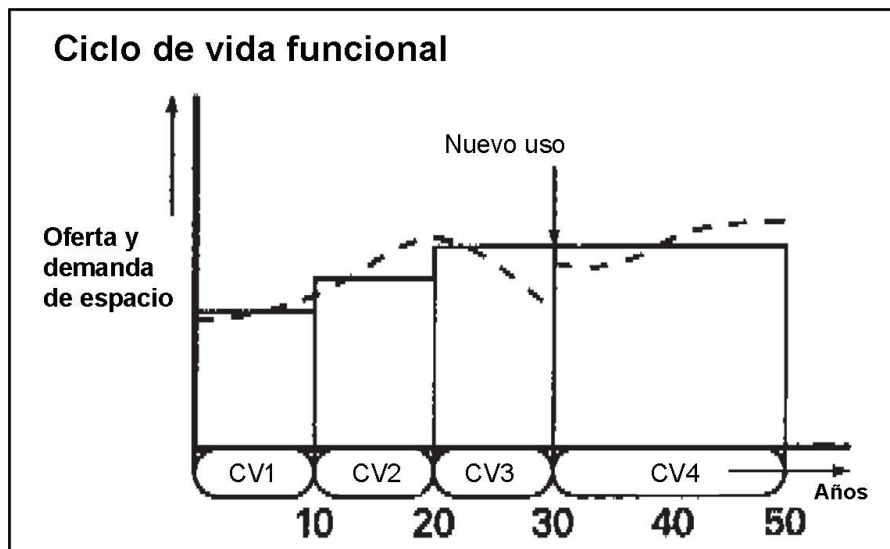


Figura 15: Ciclo de vida funcional.

El ciclo de vida técnico es válido mientras el edificio siga cumpliendo con los requisitos técnicos y que sean directamente relacionado a las estrategias de mantenimiento que se adoptan durante su uso; así mismo, dichos requerimientos en su desempeño se ven limitados o superados por las nuevas regulaciones constructivas o de permanencia. Ver Figura 16.

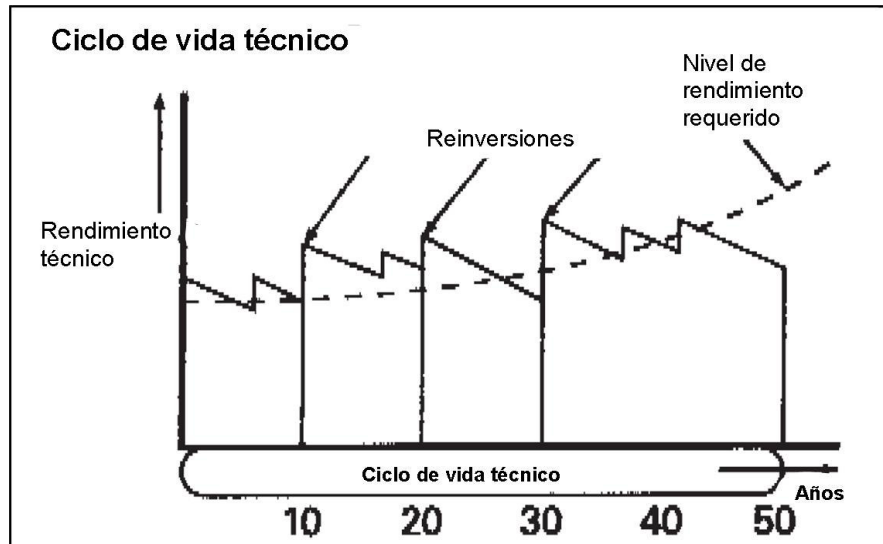


Figura 16: Ciclo de vida técnico.

También, el ciclo de vida económico del edificio será el periodo de tiempo en que dicha edificación cumpla con los criterios de recuperación de la inversión. Cada vez que se realicen cambios técnicos o funcionales, los ingresos, gastos e inversión se verán reflejados en la longevidad del edificio. Por lo tanto, en una construcción convencional las inversiones se ven reflejadas desde el principio hasta el final del ciclo de vida del edificio. Ver Figura 17.

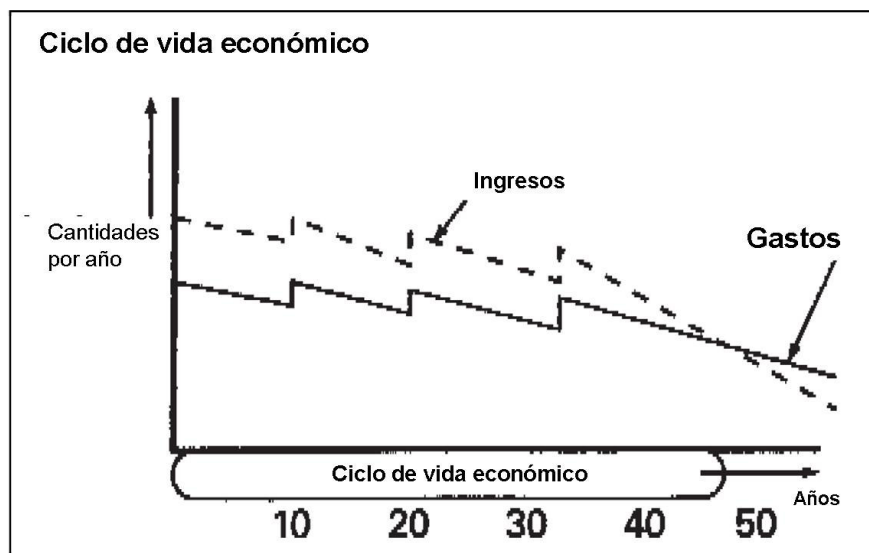


Figura 17: Ciclo de vida económico del edificio.

El diseño que contemple estrategias para adaptarse a los cambios permite ahorrar dinero. Por lo tanto, es legítimo pensar que el Diseño Sostenible puede aumentar el ahorro en distintos rubros. Dichas decisiones tomadas al inicio del proceso de diseño

influirán significativamente en los costes totales del ciclo de vida del edificio. Por ejemplo, la orientación del edificio respecto a su entorno, asoleamiento, sombra, etcétera, se reflejarán directamente en el ahorro o consumo de energía; otro sistema puede ser en las fachadas, de acuerdo a su armado, composición, etcétera, repercutiendo en el ahorro o inversión en limpieza, o en su defecto, en su reparación.

Otra ventaja económica en el Diseño Sostenible que se basa en un enfoque a largo plazo, es que aumenta el valor del edificio. De hecho, implica una reducción potencial del tiempo y coste durante las adaptaciones. El coste es menor, cuando una renovación o rehabilitación se realiza, siendo necesario únicamente mantenimiento, actualización, así mismo como también, no se generan residuos. Al maximizar el tiempo de uso de los edificios, el Diseño Sostenible favorece la generación de ingresos adicionales (reducción de costos).

El diseño de edificios deconstruibles reducirá el riesgo de pagar impuestos debido a requerimientos legislativos, es decir, pagar por lo que viertes a los rellenos sanitarios.

Finalmente el sustituir solo componentes o elementos del edificio deconstruible reducirá notablemente la generación de residuos de la construcción, así mismo dará al edificio un valor adicional ya que la mayor parte de sus componentes o elementos extraídos en el proceso de deconstrucción tendrá un valor en el mercado, por lo que todos estos aspectos económicos harán, de la edificación una inversión atractiva.

## 2 TEORÍAS

### 2.1 DEFINICIÓN DEL DISEÑO PARA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

El diseño de los edificios se esta perdiendo, los diseñadores, arquitectos o constructores están pasando por alto lo obvio, diciendo que es una abstracción de conceptos, que solo se aplican a la envolvente o acabados. Lo cierto es que se ha argumentado e ilustrado que los cambios tardíos en el proceso de diseño o construcción implican grandes inversiones o pérdidas en lo económico y generan gran cantidad de desechos procedentes de la construcción. Así que, pasar por alto el proceso de diseño implicara que se pierdan grandes beneficios en el proceso de construcción.

Diseñar para adaptar y deconstruir; en primera instancia es diseñar para construir estructuras desarmables, que significa la creación de edificios sostenibles; es decir, maximizar su flexibilidad tanto en su configuración espacial como en impactar en menor grado al medio ambiente; esto será tomando en cuenta su ciclo de vida completo, que va desde la extracción hasta al final de su uso, es decir, su fabricación, diseño, construcción, uso y renovación.

Un menor impacto de construcción en el medio ambiente se puede lograr mediante la creación de un circuito cerrado para los materiales, como si se tratase de un automóvil, es decir, intercambiar partes, elementos del objeto con la finalidad de mantenerlo por mucho tiempo, extendiendo con ello el ciclo de vida de los elementos, sistemas y del edificio mismo. Sin embargo, esto requiere una reflexión sobre el conjunto de materiales de construcción que permita realizar modificaciones técnicas de composición, la reutilización de la construcción, la reutilización de componentes, y la reutilización de materiales reciclados, como se hace en la industria automotriz Ver Figura 18.



Figura 18: Reutilización de elementos exteriores, interiores y mecánicos.

El diseño sostenible tendrá que convertirse en el nuevo paradigma del diseño, es decir, que a partir de su aplicación se generen beneficios sociales, económicos y sobre todo medioambientales. Para entender esto, es necesario crear edificios adaptables a las nuevas demandas del usuario o requerimientos; pero también tiene que ser flexible para conectar nuevos sistemas y elementos. Con esto se procurará prolongar la vida de servicio o extender el proceso de los elementos del edificio.

## 2.2 ANTECEDENTES

Para entender dichos edificios flexibles y desmontables será necesario observar los intentos, estudios y aplicaciones en el pasado.

Hay ejemplos de edificios del pasado que fueron diseñados para transformarse. La tecnología industrial se utilizó para ello, utilizando el modelo de maquinaria, donde los componentes del edificio podrían ser intercambiados, reutilizados o reciclados. Cedric Price fue un arquitecto que concibió la idea de un conjunto flexible de componentes independientes en la década de 1960, a través de sus dibujos conceptuales del "Fun Palace" ver Figura 19, "Alfarería Thinkbelt", y más tarde a través de la construcción del International Community Centre.

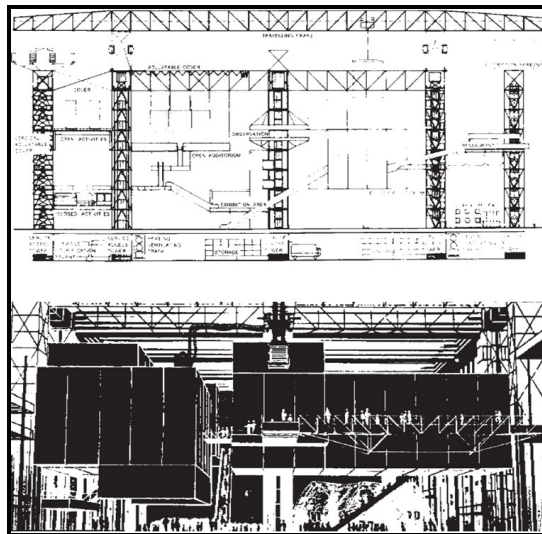


Figura 19: Edificio Fun Palace, Cedric Price 1961.

Su plan para construir el Fun Palace fue una obra de inspiración en el ámbito de la adaptación de edificios. El concepto se basaba en un gran marco estructural donde las diferentes unidades y los componentes pudiesen conectarse de una manera sencilla, como si de un clic se tratase. La estructura podía estar constantemente cambiando, adaptándose a las diferentes necesidades mediante el uso de paredes, techos, móviles. La arquitectura era indeterminada, flexible e impulsada por la tecnología actual.

En los años 60 hubo una importante explotación del diseño arquitectónico experimental vinculado a las tensiones de la Guerra Fría y a la monotonía deprimente de la mayoría de los nuevos desarrollos urbanos. Al mismo tiempo, una serie de grupos vanguardistas surgidos en el mundo tales como, Archigram en el Reino Unido, metabolistas en Japón, Experiments in Art and Architecture (Experimentos en Arte y Arquitectura) en Estados Unidos, UFO y Superstudio en Italia, impugnaban por una visión convencional y experimental de la arquitectura, poniendo a prueba nuevos materiales y conceptos, utilizando la capacidad de adaptación como el concepto impulsor de la innovación.

De los vanguardistas más influyentes son los de Archigram, y los demás posteriormente exploraron la mayor parte de sus ideas. Su inserción en la ciudad, por ejemplo, se basó en el desarrollo de la traza urbana que reconoce la necesidad de la planificación e infraestructura a largo plazo garantizan la continuidad del lugar, mientras el corto plazo, la utilización de componentes diferentes de la ciudad, tales



como casas, hoteles, oficinas, industria, etcétera. En el proyecto de Ciudad Plug-in (conectada), promovían un mundo urbano programado y estructurado para el cambio. Su mega-estructura de acero contenía los principales corredores de transporte y servicios; así mismo contenía las viviendas y unidades de trabajo, desmontables que podían ser manipulados por grúas. Estas unidades respondían a una jerarquía de obsolescencia en aquellas partes del edificio que se reparaban y reemplazaban con más frecuencia, así que eran más accesibles. Por ejemplo, los módulos de vivienda y comercio, que tenían un ciclo de vida de tres años a ocho, estaban más cerca de la parte superior de la estructura y los elementos pesados, tales como ferrocarriles y carreteras, con la esperanza de veinte años estaban más cerca de la parte inferior.

El esquema de diseño del proyecto de Archigram "Walking City" (Ciudad Andante), ver Figura 20, fue el último paso en urbanismo desmontable y ligero, en el que un edificio de cuarenta pisos, literalmente, podría desconectarse de un lugar y pasar a una nueva ubicación.



Figura 20: Walking City, Archigram 1964.

Por otra parte, los grupos Metabolistas japoneses promovían una filosofía que permitiera la sustitución y cambio de componentes, de tal manera que el resto de la estructura no se alterara. Estos conceptos de diseño para el desmontaje fueron evidentes en sus primeras obras, tales como movimiento, adición o sustracción de elementos, por ejemplo un módulo de vivienda se apoyaba al sistema estructural con una esperanza de vida de veinticinco años, y al final del ciclo esta se extraía permitiendo la adición de una nueva. La Exposición Mundial de 1970 en Japón permitió a los metabolistas demostrar la tecnología para el desmontaje.

La casa cápsula (The Capsule House) de la Expo 1970, fue un elemento de módulo individual que podrían ser desmontados de los demás y de la estructura, por lo que los cambios individuales en el uso de la casa podían ser acomodados de distintas maneras. Este concepto se realizó parcialmente en las cápsulas de la Torre Kurokawa en Tokio 1972, ver Figura 21, inspiradas por las ideas de Archigram.

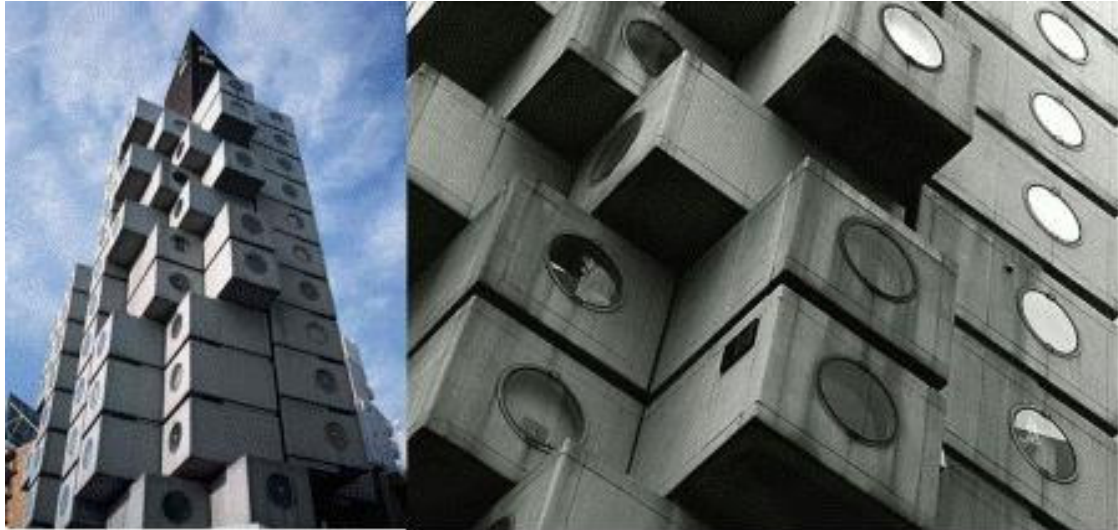


Figura 21: The Nakagin Capsule Tower, Kisho Kurokawa, 1972.

Inspirado por los trajes espaciales de la NASA y las cápsulas de la supervivencia, Mike Webb diseñó un módulo vivienda neumático, el cual se podía transportar como un traje e inflándolo cuando se requiriera, ver Figura 22.

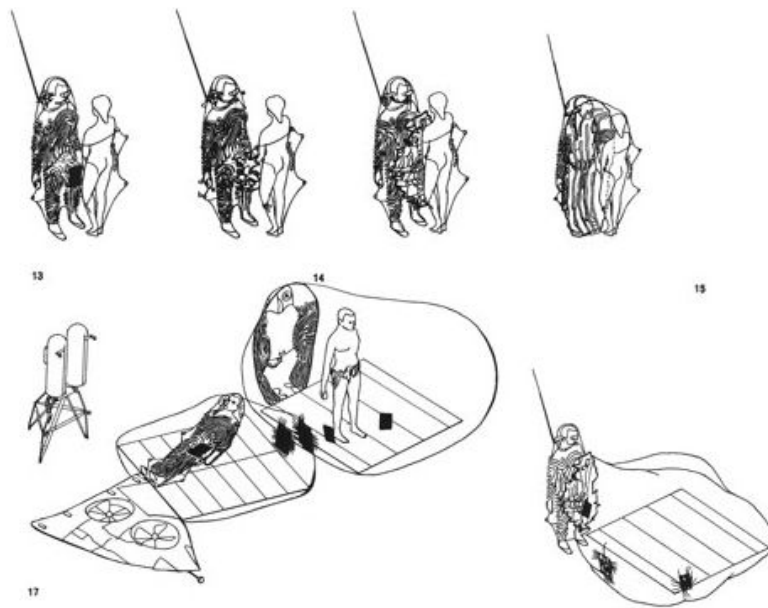


Figura 22: Suitaloon, Mike Webb, 1967.

A partir de entonces apareció la Arquitectura Inflable, que era instantánea, flexible y orgánica. Se podría entonces crear entornos de vida, transportados como neumáticos en un maletero, que se podían conectar con otros espacios para albergar un mayor grupo de personas o módulos de entretenimiento.

A mediados de la década de 1970 el grupo Future Systems retoma ideas acerca de Archigram, movilidad y capacidad de adaptación, pero en menor escala, mediante el diseño de una casa móvil mínima que utiliza imágenes de los vehículos y la tecnología y pueden ser ubicados en cualquier lugar, ver Figura 23.



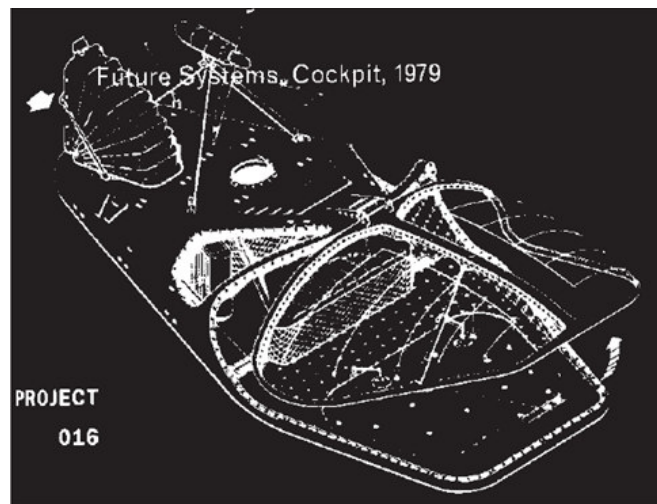


Figura 23: Mobile House, Future Systems, 1979.

La construcción más cercana del concepto de vivienda móvil, tecnológica y que se podría instalar en cualquier entorno fue diseñado por Richard Horden con su Skihouse (Casa Esquí), un módulo para dos personas, ver Figura 24.



Figura 24: Ski-House, Richard Horden, 1995.

Como se ha mencionado, la labor de Cedric Price sigue siendo la mayor fuente de inspiración para los vanguardistas de los años 1960 y 1970. Su trabajo se refiere a la aplicación de diferentes tecnologías industriales y lograr con ello la capacidad de adaptación y eficiencia en la construcción.

Para los años 80 y 90, Renzo Piano y Richard Rogers retomaron ideas de los vanguardistas para construir el Centro George Pompidou, que habría sido inconcebible sin el Fun Palace.

La visión de Price era construir una estructura dominante, contra un número de componentes intercambiables del edificio que podrían ser colocado como servicios, cerramientos y particiones diferentes; esto se puede ver ejemplificado en el diseño del Centro George Pompidou, en París, ver Figura 25.





Figura 27: Shanghai Bank, Norman Foster, 1986.

Después de observar los distintos edificios flexibles realizados en el pasado, se puede concluir que su característica principal es el desarrollo de nuevas técnicas de construcción, que simplifican la conexión estructural así como el aprovechamiento al máximo de los materiales para responder a requisitos diferentes. Estas técnicas vienen a alterar la construcción típica, es decir, pasan de ser edificaciones rígidas a tener condiciones flexibles.

## 2.3 OBJETIVOS

Es evidente que la industria de la construcción esta realizando esfuerzos para reducir los impactos medioambientales y mejorar el bienestar de la sociedad. Como tal uno de los objetivos de la construcción sostenible será reducir dichos impactos mediante la aplicación de reglas del desarrollo sostenible, reducir, reutilizar y reciclar, además de utilizar los distintos métodos constructivos, prefabricados, industrializados, etc. con la finalidad de cerrar el ciclo de vida de los materiales, del mismo edificio y evitar en lo posible la extracción y residuos.

En ese sentido, en los últimos años se han creado herramientas de gran utilidad para conocer y reducir el impacto ambiental; software de simulación de comportamiento energético de los materiales y edificios, por ejemplo Bees, Athena, etc, hojas de cálculo de residuos de construcción y demolición, como smartwaste, bases de datos, manuales de construcción, certificación, etc.

Con dichos sistemas será posible determinar ciertas causas y efectos del impacto ambiental como el consumo energético, emisión de gases invernadero y residuos; así mismo, se podrán tomar decisiones anticipadas para diseñar el sistema adaptable y flexible que sea necesario.

Dichos sistemas son una ayuda para actuar en el problema de impacto ambiental de la edificación, pero su uso habitual no asegura al 100% la neutralización de dichos impactos. En otras palabras, el uso puramente mecanicista del software para el análisis de impacto ambiental por energía incorporada, corrientes de aire, temperatura, acústica, y que no tenga en cuenta los componentes biológicos del lugar como flora, fauna y factores edáficos del lugar, difícilmente podrá erradicar el problema de impacto ambiental, por lo tanto continuará existiendo aunque en menor manera.

El problema seguirá existiendo si no se modifica el paradigma lineal de construcción como secuencia de extracción, fabricación, uso, derribo y residuo, Figura 28, que ha ido optimizándose pero sin modificar su origen. Es decir, construyen con materiales complejos en menor tiempo pero impactando en mayor medida al medio natural.

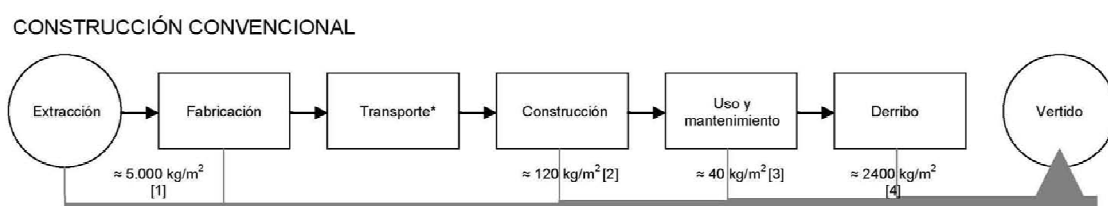


Figura 28: Construcción lineal

El objetivo más importante es que los edificios son el componente principal del entorno cotidiano de los usuarios. Por lo tanto, el edificio tiene que responder a la demanda de un medio ambiente sano, y que sea flexible, necesario además por la incapacidad de la mayoría de los edificios actuales para adaptarse a nuevos requerimientos y demandas de los usuarios.

Por lo tanto el edificio deberá:

- Reducir el número de materiales que conformarán al edificio, determinando que sean reciclado, reciclables y con bajo impacto ambiental.

- Disminuir la cantidad de materia por servicio, considerando el impacto de la mochila ecológica.
- Asegurar que el sistema constructivo permita sustituir sus elementos para hacerlo deconstruible y recuperar dichos elementos y materiales.
- Establecer que los materiales nunca saldrán del ciclo en lo posible, es decir, recuperar los elementos y materiales empleando energías renovables.

El edificio tendrá que ser flexible y adaptable, es decir, diseñado para recuperar, para reutilizar, para reciclar, para ser durable, para el uso eficaz de materiales, para reducir residuos, para regenerar, para reparar y para permitir mejoras, de tal manera que puedan cerrarse los ciclos de vida del edificio. Ver Figura 29.



Figura 29: Cierre del ciclo de vida de un edificio.



## **2.4 ESTRATÉGIAS DE DISEÑO**

### **2.4.1 CONCEPTOS ADICIONALES**

Diseño Sostenible es una combinación de estrategias de diseño que abordan el mismo problema a diferentes escalas. Estos enfoques son: diseñar para recuperar, diseñar para reutilizar, diseñar para ser durable, diseñado para el uso eficaz de los materiales, diseñado para reducir residuos, diseñado para regenerar, diseñado para reparar, diseñar para adaptar.

Diseñar para recuperar. La construcción actual lleva consigo las decisiones que se tomaron en el proceso de diseño, materiales y energía utilizados. Como se menciona antes, lo ideal es que los diseñadores, constructores, edifiquen utilizando el modelo cíclico de vida, como una manera de ser más responsable con el medio ambiente; es decir, evitar en lo posible la edificación rígida.

La posibilidad de recuperación durante todo el proceso estará influida por el método de construcción utilizado. Por ejemplo resulta sencillo recuperar el acero utilizado en la construcción para después fundirlo, hacer nuevamente acero y reutilizarlo; por otro lado la construcción tradicional con hormigón armado, por hacer reacción química, no puede reinsertarse de la misma manera, sino en una forma degradada o con potencial inferior, es decir, como material de relleno o en forma de grava.

Suele ser difícil edificar sistemas no permanentes en edificios de más de 5 niveles o que sean complejos. En general los sistemas no permanentes funcionan mejor a pequeña escala, ya que representan menor complejidad al momento de seleccionar los distintos materiales o al momento de dismantelar. Para los proyectos de mayor escala, tales como edificios de más de 5 niveles o de alta densidad de ocupación, se deberán realizar otros requerimientos como de estabilidad, seguridad, protección, etcétera.

Construir edificios y componentes constructivos pensando en una posterior utilización de los mismos elementos o sistemas, presupone que estos seguirán teniendo relevancia y uso continuo en el futuro, por lo tanto, los elementos o sistemas tendrán que ser estandarizados para que puedan ser utilizados en distintas edificaciones, siempre y cuando estas hayan sido diseñadas con la misma finalidad.

En general, la construcción a partir de fijaciones mecánicas será fácil de recuperar, mientras que los sistemas fisicoquímicos tendrán menor potencial de recuperación y todo ello pensado en asegurar un ciclo de vida del edificio, elementos y sistemas, cíclico.

Diseñar para reutilizar. En la edificación la reutilización de materiales puede ser primaria, en su forma original, o secundaria, de manera modificada. La primaria significa que el producto puede ser reutilizado en su forma y propósito original, y que no requiere de energía adicional para su reinsertión al proceso. La secundaria por otro lado, supone la reutilización de los materiales pero con utilización diferente, es decir, requiere de cierto proceso para su modificación.

En general, la utilización primaria de los elementos o sistemas de un edificio será la reinsertión inmediata de estos a otro edificio, sin la necesidad de nuevos procesos de transformación. Sin embargo, la secundaria es predeterminada y planeada, implicando nuevas crear nuevas e imaginativas soluciones para aquellas partes que dejen de ser útiles para su función original o deseada.

Diseñar para ser durable. Se trata de prolongar la vida útil de los elementos, sistemas o materiales del edificio significando con ello la reducción de residuos provenientes de la construcción.

Así mismo, diseñar para un uso eficaz de los materiales; es decir, utilizar materiales que necesiten menos recursos naturales o si dichos materiales son escasos o no reciclables. Esto no significa que el edificio tenga que ser minimalista, sino en lo posible conservar los materiales escasos o que representen otros procesos para la re inserción.

Diseñar para reducir residuos. Este aspecto requerirá el buen conocimiento del ciclo de vida de los materiales así como de los rendimientos en la cadena de reutilización o reciclaje.

Diseñar para regenerarse. Será la reconstitución parcial o total de los productos a su forma original previa a su utilización. Este concepto es común en la industria automotriz; así con la regeneración se puede ahorrar hasta un 60% en recursos, mano de obra y energía respecto a los necesarios para fabricar y producir nuevos productos.

Lo anterior nos lleva al concepto diseñar para reparar. En este caso los componentes, elementos o sistemas del edificio, por ejemplo los revestimientos, deben diseñarse con el objeto de facilitar su montaje y desmontaje para su reparación, también esto representa tener piezas de recambio disponibles. Con esto es conveniente hacer evidente el manual de usuario para que los usuarios aprendan el funcionamiento correcto de los distintos elementos, componentes y sistemas del edificio.

Las reparaciones y el mantenimiento continuo del edificio ayudarán a prolongar la vida de sus componentes y con ello permitirá la reutilización posterior. Con la construcción tradicional es casi imposible la reparación de los elementos, por ejemplo, resulta difícil reparar o sustituir elementos soldados o rígidos. Como norma general a lo anterior siempre será preferible la reparación a la sustitución.

Diseñar deconstruir se enfoca en la construcción de componentes para facilitar su desmontaje. Esto requiere que los componentes no pierden sus cualidades durante el desmontaje con el fin de minimizar la cantidad de mano de obra, energía y costos necesarios para hacerlos plenamente reutilizables.

A fin de lograr flexibilidad del edificio a cualquier nivel, el diseño requiere una comprensión integral de la propia edificación. En consecuencia, cada elemento en la construcción tiene que ser el resultado de la configuración de diseño. Esta configuración tendrá como objetivo definir claramente la relación entre los componentes de construcción para hacer la estructura dinámica y flexible. Una estructura dinámica y flexible implica la accesibilidad a los componentes de la construcción y la facilidad en el montaje-desmontaje, reparación, modificación, eliminación, y/ o reemplazo.

El indicador de rendimiento para este tipo de diseño deberá basarse en el nivel de independencia e intercambiabilidad de los componentes del edificio. Estos dos criterios dependen principalmente de su ensamble y métodos de unión utilizados.



## 2.4.2 EL MODELO FRACTAL Y ESTANDARIZACIÓN

El concepto de fractal se puede definir como una forma compleja generada por la descomposición de una forma básica. Tal forma no es fácilmente describible con la definición geométrica habitual. El elemento geométrico elemental se puede encontrar en cualquier escala. La Figura 30 es un ejemplo de un fractal generado por una línea que forma una geometría descompuesta.

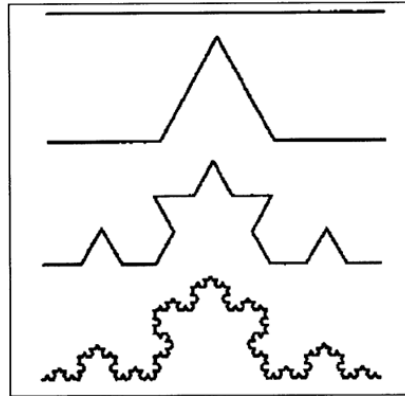


Figura 30: Descomposición de la geometría en forma Fractal.

La idea de la existencia de una regla elemental que rige la organización de cualquier diseño elegante, macroscópico, ha sido centro de interés a lo largo de la historia. Sus principales teorías son la proporción áurea ( $1/0.618$ ) y los radios de Pitágoras ( $1/2$ ,  $1/3$ ,  $2/3$ ,  $3/4$ ).

Se han propuesto algunas reglas de estandarización propuestas donde se utilizan los coeficientes de 2 y  $\sqrt{2}$  que son los dos y únicos factores multiplicadores de base para generar dimensiones. La novedad de su enfoque es que se basa en el concepto de fractal. De hecho ( $\sqrt{2} \cdot a$ ) corresponde a la longitud de la diagonal de un cuadrado cuyos lados miden ( $a$ ).

El propósito de este método, basado en el proceso de generación de fractales, es mejorar la compatibilidad en la geometría y el tamaño, al mismo tiempo permite el diseño de una amplia variedad de formas. La idea fundamental es que cada elemento se puede descomponer en partes básicas que provienen de un cuadrado, tomando como referencia un lado, la diagonal, o de un círculo inscrito en el mismo cuadrado; estas formas son las más utilizadas en el sector de la construcción. La Figura 31, muestra cómo los componentes de construcción se pueden definir con base a dimensiones estandarizadas.

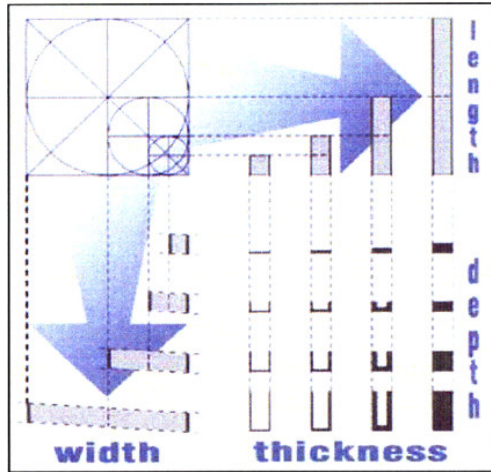


Figura 31: Determinación dimensional de un componente generado por fractales.

Por tanto, de un cuadrado con un lado de la longitud "a", se puede crear elementos que son  $(2n \cdot a)$  y  $(\sqrt{2} \cdot n \cdot a)$  de largo, donde "n" es un número entero.

La descomposición de estos elementos básicos crea un sistema. Por lo tanto, la estandarización en la geometría de las formas conduce a una estandarización de los componentes utilizados en la construcción, ver Figura 32.

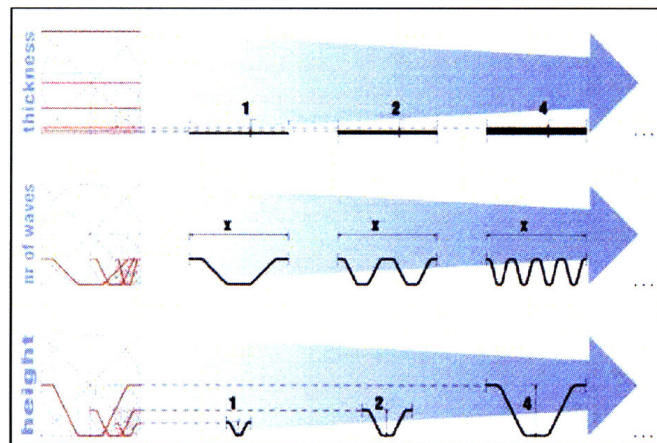


Figura 32: Diseño de una placa de acero corrugado.

### 2.4.3 LA SOBREPOSICIÓN DE CAPAS

En la actualidad siguen diseñando edificios como objetos, es decir, concebidos, contruidos y utilizados como entidades completas, en otras palabras, entienden a los edificios como elementos singulares en un periodo de tiempo.

Pocos son los edificios que diseñan para permitir modificaciones en el tiempo a través de alteraciones, reparaciones, ampliaciones y mantenimiento; en estos casos, el edificio esta en constante cambio en respuesta a las demandas de los usuarios así como las condiciones ambientales. Entonces no dicen un edificio singular sino una serie de edificios diferentes en el tiempo.

Teniendo en cuenta los niveles de dependencia del edificio entre los sistemas espaciales y técnicos, los edificios se dividen en tres grupos: edificios rígidos, edificios en parte desmontables y edificios desmontables. Dicho proceso de transformación, de rígido a flexible simboliza el proceso de separación de las funciones del edificio como soportes, envolventes, elementos y particiones. Ver Figura 33.

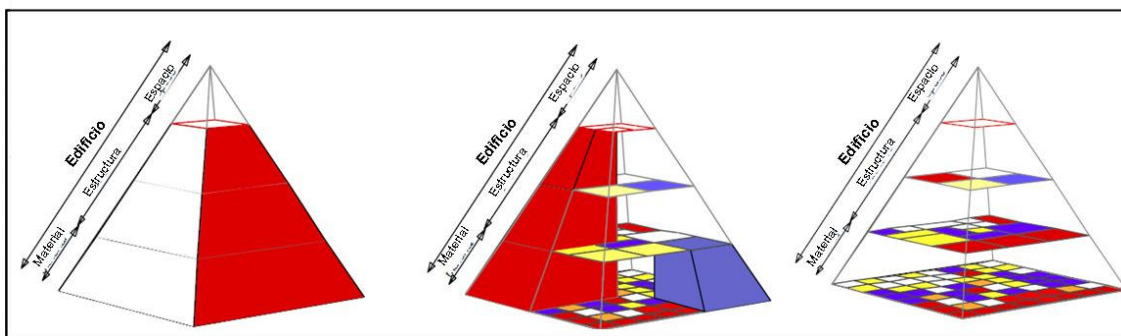


Figura 33: Izquierda: edificio rígido, centro: edificio en parte desmontable, derecha: edificio flexible.

Como se observa en la figura anterior, los edificios rígidos se caracterizan porque todos sus elementos, sistemas están integrados, es decir, dependen una de otra o están conectados entre si. Esto es porque desde su construcción fueron pensados para que su expectativa de vida sea prolongada y exclusivamente para cumplir la función a la cual fue asignada. Entonces para reemplazar un componente, los demás tienen que demolerse.

Los edificios en parte desmontables son aquellos en que se han seleccionado los elementos flexibles, es decir, los elementos fijos son aquellos con altos niveles de espacial y funcional; mientras que los elementos flexibles son aquellos que menos tiempo de vida o expuestos a cambios frecuentes.

Los edificios deconstruibles en su totalidad lo definen como aquellos en los que todos sus elementos pueden desmontarse con facilidad todos sus elementos, para después ser reutilizados en otro edificio o en su defecto reciclarlo al final de su uso. Por lo tanto, todos esos elementos tendrán que ser diseñados en módulos, que sean transportados con facilidad y colocados en el sitio.

Este tipo de edificios lo definen como un método constructivo en el que se hace uso integral y separado de todos los sistemas, estructural, mecánico, eléctrico, envolvente, para promover con ello su independencia e intercambiabilidad. El aspecto más

importante es la independencia entre los distintos niveles que dependerán de las expectativas de vida de los elementos.

Por lo tanto, con la utilización de este tipo de teoría se podrán definir edificios en los que todos sus elementos tengan una disposición jerárquica, que determinará su tipología y formalidad así como la facilidad o dificultad para reformarlo, modificarlo, reconstruirlo o en su defecto desmantelarlo.

Como ejemplo, la arquitectura vernácula japonesa utiliza la madera como material constructivo. Les permite construir en capas, es decir, construyen la estructura principal de madera de acuerdo a las características de los muros y techos. Después construyen una segunda estructura, de madera, de acuerdo a las necesidades y demandas de los ocupantes. Esta segunda estructura o capa se puede desmantelar, deconstruir y remodelar para adaptarse a nuevas demandas de los ocupantes sin afectar a la estructura principal y sin generar desechos constructivos.

Este tipo de diseño permite que edifiquen en partes, es decir, primero construyen el marco estructural y después los sistemas secundarios que definen los espacios interiores. Por lo tanto, la solución principal para adaptarse a nuevos sistemas, es el sistema estructural. Este lo definen como una construcción que permite nuevas adaptaciones, modificaciones y reconstrucciones, independiente al resto del edificio.

El diseño de los edificios a partir de capas, esta inspirado en los edificios mencionados en los antecedentes. Un ejemplo claro de edificio a partir de capas es el edificio Fun Palace de Cedric Price, era en un edificio con estructura principal de acero, de la cual colgaban todos los elementos tales como los pisos, muros, techos. Todo el edificio fue diseñado con el objeto de permanencia en el tiempo; todos los elementos eran desmontables lo que permitía que todas las partes fueran manipuladas, reubicadas en distintos sitios para distintas actividades, removidas o reemplazadas.

Este centro multipropósito fue diseñado para permitir todos los cambios espaciales posibles. Consistía en una estructura principal de acero, de forma regular, que permitía una serie de espacios secundarios y flexibles, independientes entre si, permitían su armado y desarmado sin tocar la estructura principal. También contenía módulos independientes con los servicios, que podían ser conectados en cualquier parte que fueran requeridos.

El argumento principal por la que aplicaron este sistema es que en realidad no existe ningún edificio concebido en capas, con ciclos de vida en sus sistemas, que permitan cambiar de forma independiente entre si.

En general buscan conseguir seccionar la construcción, es decir, lograr un soporte permanente y el resto temporal.

El edificio puede ser modelado como una pirámide cuya base es el elemento. Lo que quieren decir es que este sistema de capas se puede representar una función de montaje, es decir, definen al edificio como la suma de elementos, donde la suma de elementos representa un componente; la suma de componentes representa un sistema y la suma de sistemas representa al edificio. En otras palabras:  $A * A * A$ . donde  $A$  (elemento) = componente;  $A$  (componente) = sistema; y  $A$  (sistema) = Edificio. Ver Figura 34.

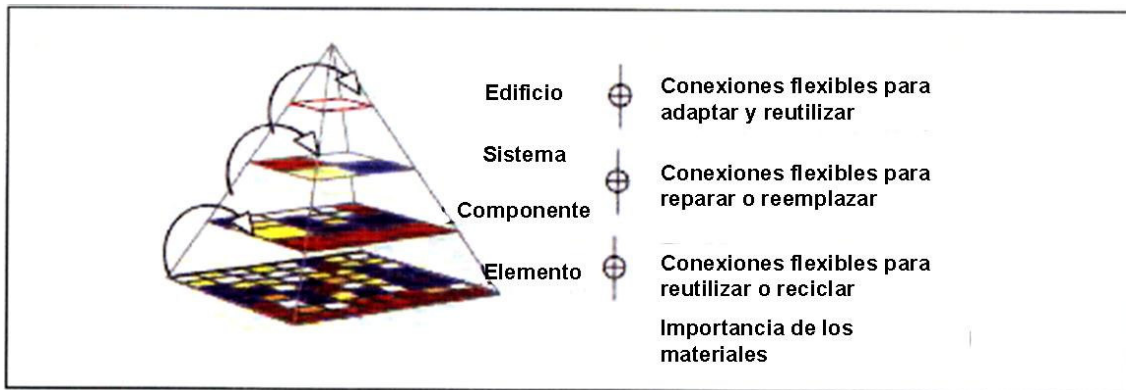


Figura 34: Jerarquía de niveles del edificio

Lo que mencionan es que para que funcione este sistema requerirá de un ensamble conformado por conexiones o juntas flexibles.

Esta representación piramidal facilita el modelado de un edificio como un conjunto de capas diferentes. Este modelo lo justifican por el hecho de que cada parte de un edificio tiene una función específica y vida útil. Es decir, la relevancia de esta teoría es que las partes del edificio, con un tiempo corto de vida útil, puedan ser separadas de las partes con vida útil prolongada. Por ejemplo, cuando los servicios sanitarios del edificio ya no satisfacen la necesidad de los usuarios, estos pueden ser actualizados o reemplazados sin la necesidad de reformar todo el edificio. Con esto permiten diseñar y construir edificios flexibles, a manera que el edificio no tiene por qué ser reemplazado solo porque los espacios internos ya no cumplen con las nuevas demandas.

Lo que hacen es desmembrar al edificio colocando en orden descendente las capas y asignándole los ciclos de vida esperados para cada una. Esta idea se ilustra en la siguiente Figura 35.

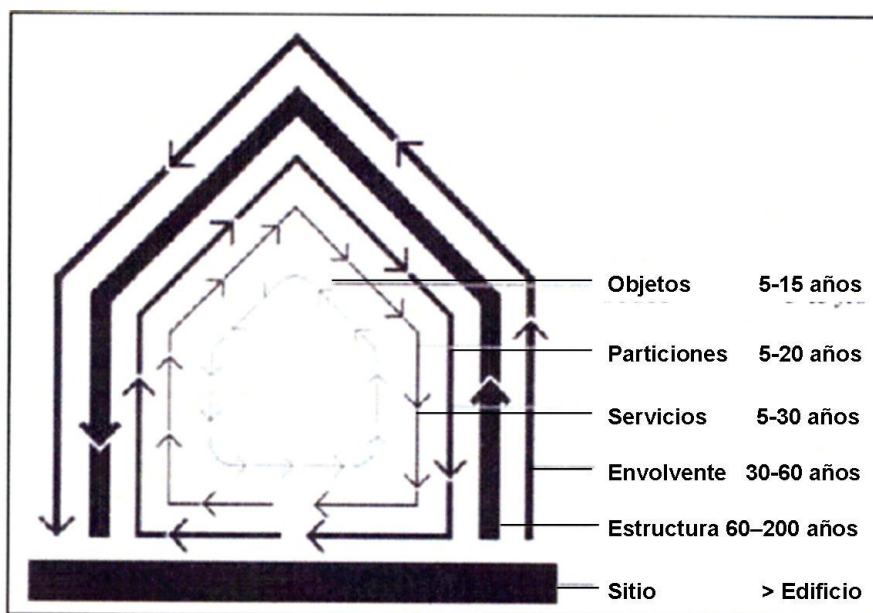


Figura 35: Capas compartidas de construcción y su ciclo de vida

La figura anterior se define como:

- El sitio como la situación geográfica, el suelo donde el edificio estará construido, es decir, el sitio es eterno.
- La estructura representa la cimentación y los componentes estructurales del edificio, es otras palabras, son aquellos elementos que mantienen al edificio en pie. Dicha estructura se espera que tenga una durabilidad de 60 a 200 años.
- La piel del edificio, envolvente, es el sistema de revestimientos, muros y techos, se excluyen los elementos interiores. Esta capa tiene una durabilidad de 30 a 60 años que dependerá del mantenimiento, adaptación a nuevas necesidades o sistemas.
- Los servicios son los sistemas eléctricos, hidráulicos, aire acondicionado, ascensores y electrónicos. Su ciclo de vida esperan sea de 5 a 30 años.
- La capa espacial la definen como el sistema de particiones internas, los acabados y el mobiliario. Esta capa tiene una expectativa de vida de 5 a 20 años que dependerá de las necesidades de los usuarios.
- Los partes en general, son los distintos objetos del edificio que los usuarios utilizan continuamente para satisfacer sus necesidades diarias, semanales, mensuales, etcétera. Dicha vida útil de estas partes se espera sea de 5 a 15 años.

El concepto de estratificación tendrá un impacto importante en el diseño o análisis de los edificios deconstruibles. La interacción de capas será punto importante para la deconstrucción del edificio.

La importancia de la durabilidad de cada capa deberá ser tomada en cuenta en el campo de la deconstrucción de los edificios. La teoría del tiempo de las distintas capas será fundamental en el diseño de los edificios futuros, con especial atención en el desmontaje y recuperación de los componentes.

Es importante ya que va a reducir al mínimo los residuos que se deriva de las adaptaciones y remodelaciones de un edificio. La idea que proponen consiste en colocar las capas que tienen menor ciclo de vida cerca de la superficie o que sea de fácil acceso para darle mantenimiento o en su defecto sustituirse. Una ventaja de este modelo es que las partes no estructurales tienen mayor independencia de la estructura.

Para cumplir con lo anterior, el edificio deberá ser flexible en las uniones de muros, en las áreas de instalaciones y en la cocina. Este sistema implica la coordinación entre las aportaciones técnicas de los componentes y su ciclo de vida. Por lo tanto, las capas que tengan ciclos de vida cortos deberán estar cerca de la superficie para facilitar su acceso y reducir al mínimo cambios y desechos constructivos.

En general las construcciones actuales no están capacitadas para modificarse, por esta razón cada transformación provoca la demolición de las partes del edificio y en muchas ocasiones de la estructura en general. Este método de capas lo aplican con la finalidad de aumentar la capacidad de adaptación a nuevas necesidades, a través de elementos que hagan una estructura flexible cuyas partes puedan ser reemplazadas, reutilizadas o en su defecto recicladas.



#### 2.4.4 EL MODELO MODULAR

Como se ha mencionado antes, la necesidad de nuevas formas de construcción flexible, que permitan futuras adaptaciones, han originado el estudio y diseño de elementos tridimensionales, terminados y listos para su colocación, que en general forman edificios desmontables o deconstruibles, reutilizables o reciclables.

La construcción de edificios a partir de elementos modulares se refiere a un procedimiento constructivo donde el elemento principal se repite en todo el proyecto; es decir, son elementos tridimensionales prefabricados y terminados en una planta industrial.

Este sistema puede entenderse como la unión de elementos, cerramientos, particiones, estructura, instalaciones, acabados; son transportables y permiten acoplarse a otros módulos, Figura 36 . La cualidad principal del módulo es la capacidad de movilidad, se diseñan con medidas estándar a la capacidad y carga de los camiones transportistas, dimensiones no mayores a 3 m x 3 m x 10 m.

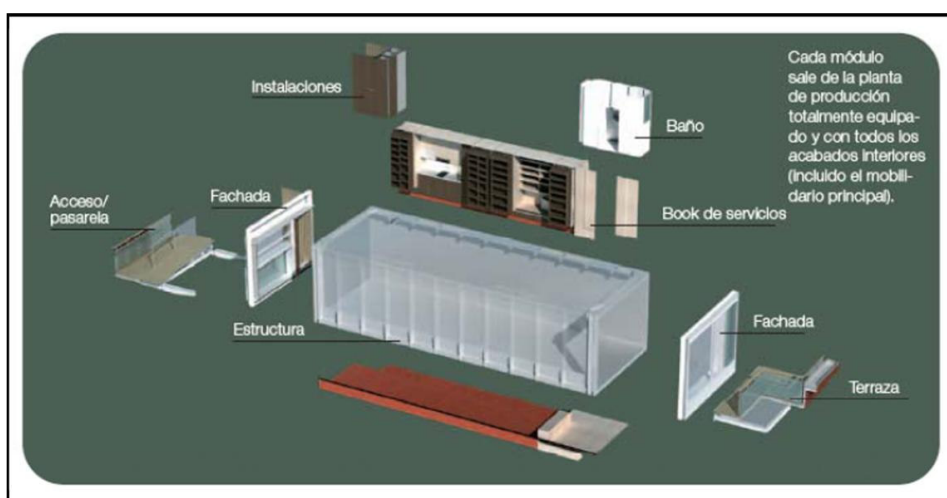


Figura 36: Elementos del módulo.

El módulo es la unidad básica, autónoma, que permite adaptarse a distintas necesidades, formas, elementos, y de acuerdo a los distintos requerimientos hacen habitable a dicho elemento, pueden ser de hormigón, mixtos (combinación de materiales) y ligeros (acero).

Esté método, como en otros, es necesario el análisis minucioso del proyecto para evitar costes adicionales, retrasos y generación de residuos de construcción. Si se aplica correctamente, reduce tareas en obra de cimentaciones, instalaciones, etcétera.

Estos elementos modulares se pueden interpretar como módulos estándar o módulos adaptados.

Los módulos estándar son los que reciben poco o ningún tratamiento para adaptarse a las condiciones del sitio o del edificio del que será parte; por otra parte los módulos adaptados son aquellos que necesitan adecuaciones para las futuras construcciones.

En su mayoría, los módulos ligeros están diseñados de acuerdo al transporte, es decir, responden a dimensiones estándar ISO, que permiten facilidad de movilidad, unión con otros elementos, apilado, etcétera. Su estructura consiste en un bastidor



tridimensional, ensamblado con cuatro pilares y la estructura de cubierta, atornillados o soldados.

Existen módulos construidos en madera, pero el material más utilizado es el acero galvanizado, con perfiles laminados o tubulares y si necesitan mayor resistencia estructural, utilizan perfiles extruidos. Con estas características se pueden construir edificios de hasta tres niveles sin la necesidad de una estructura independiente.

De igual manera las protecciones exteriores pueden ser ligeras como madera o lámina, o pesadas como hormigón. Los pavimentos habituales son de PVC o en algunos casos cerámicos. Las carpinterías son de aluminio. Las cubiertas se forman de falsos techos con capas de aislamiento térmico. Ver Figura 37.

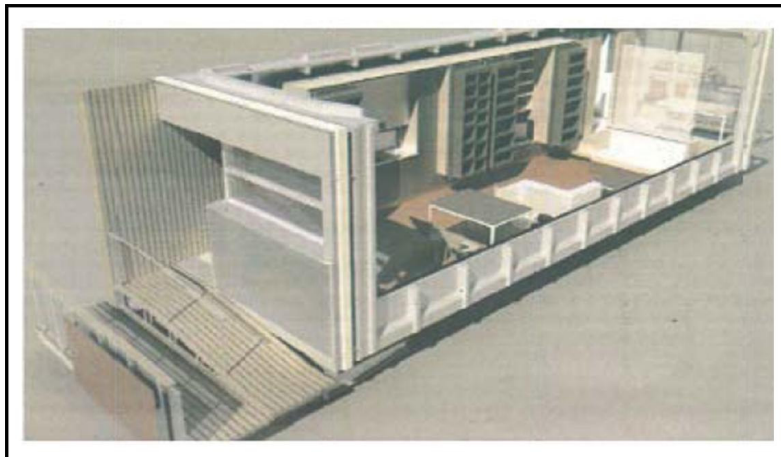


Figura 37: Materialización del módulo.

Por lo tanto, el edificio puede ser idealizado como un conjunto de módulos, que estos a su vez, están constituidos por distintos elementos, cerramientos, fachadas, escaleras, ventanas, etcétera. Ver Figura 38.

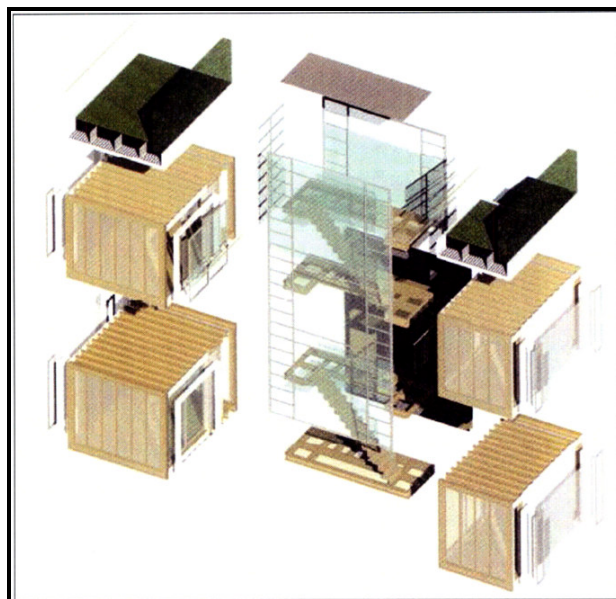


Figura 38: El edificio construido con módulos.

Los aspectos comunes en la construcción con módulos son que normalmente se apoyan en zapatas aisladas, que coinciden con los puntos de apoyo inferior del elemento; también pueden apoyarse en cimentaciones corridas, que como su nombre lo indica, los apoyos son en todo el perímetro del elemento; y finalmente, pueden apoyarse en estructuras de pórticos que pueden ser de hormigón o acero.

Otro factor importante es el aislamiento térmico y de humedad por la parte inferior del módulo; en este caso se deja espacio entre el suelo y el elemento permitiendo su ventilación, además permite las respectivas conexiones eléctricas, hidráulicas y sanitarias, así como las posibles reparaciones. Las instalaciones, ductos, terminales, se incorporan en fábrica.

Existen varios tipos de construcción modular, pesados con hormigón, y ligera con acero galvanizado, madera, etcétera.

La construcción modular pesada se inicio a mediados de los años cincuenta, en principio formando bloques sanitarios que se adaptaban a los edificios ya construidos. Países como la URSS, Estados Unidos, Japón y Canadá, han estado en constante mejora. De los proyectos con mayor fama en este sentido fue Hábitat-67, construido para la Exposición Universal de Montreal. Es un proyecto construido con elementos modulares pesados, pretensados por la forma del edificio; y aunque su coste fue mayor a la construcción tradicional, sigue siendo un referente para la construcción modular pesada. Ver Figura 39.



Figura 39: Hábitat 67, Montreal, Canadá.

Como elemento pesado, el material principal es el hormigón armado, en forma de panel y posteriormente armado para formar el elemento modular. Por sus características, se suelen reforzar para evitar fisuras durante su transporte.

La ventaja de utilizar este material, es sin duda su resistencia a, inclemencias ambientales, la capacidad de carga, resistencia al fuego.

Las desventajas son, el peso elevado y el poco aislamiento térmico, aunque este último puede resolverse, el primero sigue representando un problema, principalmente por los costes de manipulación que representa y por lo tanto su pleno desarrollo.

Por otra parte, la construcción modular ligera se da por la necesidad de quitar peso al elemento a transportar, reducir costes y desarrollar plenamente este sistema. Como tal se utilizan materiales como madera, acero, y se construyen de la misma manera que los elementos pesados, es decir, se forman los paneles, se ensamblan y terminan, finalmente se colocan a pie de obra para su colocación.

Los materiales de este tipo son los metales. Pueden constituir la parte estructural de los módulos, columnas, largueros; también lo utilizan como chapas plegadas con fines de recubrimiento perimetral exterior y de cubiertas.

Otro metal utilizado es el aluminio, que se en las carpinterías exteriores, cercos y en algunas divisiones interiores.

La ventaja de los metales es la ligereza, así como la exactitud con que se puede transformar en la industria. La desventaja es la poca resistencia al fuego, a la capacidad de carga.

Otro material ligero es la madera. Es ligero en comparación al hormigón, se moldea fácilmente, se puede utilizar en el interior como en el exterior, pues resiste humedad, agentes degradantes como insectos, son resistentes al desgarre; la desventaja es que para algunos países este material es escaso e importarlo el coste total no reflejaría un beneficio.

Los plásticos se aplican en su mayoría en los revestimientos, tal como la resina de poliéster con protección acrílica; el poli metacrilato de vinilo o plexiglás, resistente a la intemperie y el policloruro de vinilo o PVC, resistente al exterior.

Y finalmente pueden utilizarse otros materiales como el vidrio aplicado en acristalamientos, que si se esmalta por el exterior puede utilizarse como revestimiento.

Los módulos ligeros son, en general, autoportantes, tienen rigidez propia que les permite transmitir su carga a la estructura principal o a si misma. Por tanto deben asentarse en zonas definidas y delimitadas para evitar asentamiento o esfuerzos indeseados, que pudiesen dañar dicha estructura, deformándola o figurándola, perdiendo con ello su capacidad de reutilización o reciclaje.

Por lo tanto, este modelo maximiza su potencial de adaptación. De hecho, un área determinada puede cumplir con muchas funciones dentro de la vivienda. Incluso si la estructura no se modifica con el tiempo, esta permite una amplia gama de cambios. La configuración del espacio puede cambiar en función de las particiones que se pueden agregar o quitar, lo que permite una amplia gama de organización.

Como se muestra en la Figura 40, un área determinada puede ser multifuncional, satisfaciendo diferentes usos: un dormitorio, un comedor, o una oficina.

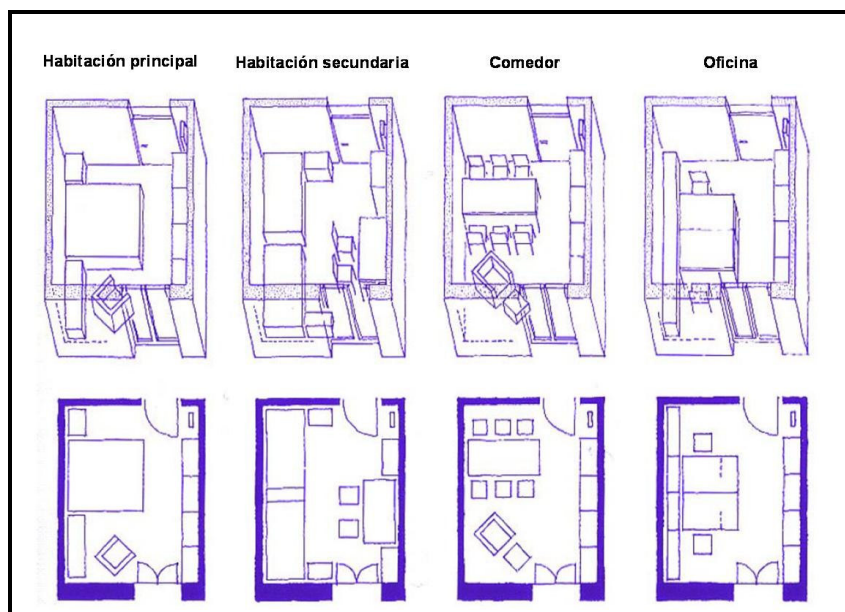


Figura 40: Diferentes configuraciones en el mismo espacio.

En general estos módulos podrán ser adaptados a nuevas exigencias, demandas del usuario, son edificios flexibles por el tipo de conexiones, es decir, permiten la deconstrucción del edificio. Así mismo estos módulos podrán ser instalados y desinstalados para llevarlos nuevamente a la planta de construcción, donde podrán ser reparados, adaptados a las nuevas necesidades o para recibir mejoras tecnológicas.

En sentido sostenible, estos módulos son elementos con vida útil cíclica, pueden utilizarse una y otra vez dependiendo del mantenimiento y cuidados que se le de.

## 2.5 REGLAS PARA LA ADAPTABILIDAD Y DECONSTRUCCIÓN

La construcción tradicional se ha centrado en las fases de construcción, rendimientos a corto plazo y optimización de costes. Sin embargo las nuevas circunstancias como la crisis económica, la industrialización de la construcción y la conciencia ambiental, están demandando nuevos enfoques de diseño y nuevos métodos de aplicación en la construcción.

El diseño de edificios flexibles permitirá adaptar y desmontar con facilidad, siendo las condiciones previas para la transformación de los futuros edificios, incluyendo la intercambiabilidad, reutilización, reparación y reciclaje de sus elementos. Desmantelar no solo reducirá la generación de residuos, emisión de polvo, ruido, utilización de recursos materiales, consumo energético, si no además, simplifica, acelera la construcción, reconstrucción o desmontaje.

Al diseñar edificios dinámicos es fácil recuperar todos sus elementos, componentes, para reinsertarlos nuevamente en el proceso de diseño o construcción. Como se observa en la Tabla 2, los aspectos clave para las nuevas edificaciones tendrán que definirse por fases de ciclo de vida, así mismo tendrán que considerar el diseño integral, donde el objetivo será la optimización de la construcción, análisis de ciclo de vida de todos los componentes para una mayor duración.

Tabla 2: Aspectos para la adaptabilidad y deconstrucción.

Fase de ciclo de vida	Estrategia por fase de ciclo de vida	Relevancia
Diseño	<ul style="list-style-type: none"><li>- Desarrollo de escenarios para los distintos usos.</li><li>- Optimización del edificio en cada una de las fases de ciclo de vida.</li><li>- Ingeniería actualizada.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Edificio flexible.</li><li>- Carga ambiental.</li><li>- Decisión oportuna y correcta en el tiempo de construcción.</li></ul>
Construcción	<ul style="list-style-type: none"><li>- Utilización consciente de materiales.</li><li>- Utilización de materiales reciclables o reutilizables.</li><li>- Utilización de materiales ligeros.</li><li>- Utilización de materiales de menor energía incorporada.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Consumo energético</li><li>- Consumo ambiental.</li></ul>
Ensamble	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ensamble en seco.</li><li>- Ensamble paralelo.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Proceso constructivo.</li><li>- Consumo de recursos.</li><li>- Carga ambiental.</li></ul>
Consumo	<ul style="list-style-type: none"><li>- Bajo consumo energético.</li><li>- Diseñar para mantener.</li><li>- Prolongar vida útil.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Consumo de recursos.</li><li>- Carga ambiental.</li></ul>
Desmontaje	<ul style="list-style-type: none"><li>- Diseñar para desensamblar.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Consumo de recursos.</li><li>- Carga ambiental.</li></ul>



El mayor obstáculo en el diseño flexible será compartir las mismas capas con diferentes ciclos de vida. Por ejemplo, un edificio moderno está diseñado para durar de 50 a 75 años, sin embargo, la vida de servicio es impredecible porque la mayoría de sus elementos fueron diseñados aparte, complicando su reparación, reemplazo o mantenimiento. Los elementos, componentes, con un ciclo rápido como las particiones, están en conflicto con los de ciclo lento como la estructura o el sitio.

Al considerar el potencial del ciclo de vida cerrado de los materiales en el entorno construido, se nota que el problema radica en la dependencia entre componentes, con diferentes ciclos de vida y expectativas funcionales. Para ello el primer paso será la disociación entre los elementos fijos (ciclo lento) y componentes (ciclo rápido).

La estrategia de diseño será definir el orden jerárquico para procurar el mantenimiento, la reposición de componentes, que asegurarán la reutilización y reciclaje. Esto debe aplicarse a los distintos niveles del edificio, es decir, al nivel de construcción, al nivel de producto (edificio), y al nivel de materiales. El nivel de construcción procurará una estructura flexible, transformable, que pueda adaptarse fácilmente a las nuevas exigencias; el nivel de producto (edificio), procura que sus elementos, componentes, sean reutilizables; y el nivel de materiales procurará el reciclado de los materiales utilizados.

De acuerdo con lo anterior y aplicando el diseño, se enlistan algunos principios para la adaptabilidad y deconstrucción:

- Promover la separación entre los elementos rígidos y flexibles del edificio.
- Crear una separación entre los elementos con diferentes funciones y expectativas de vida.
- Procurar que todos los elementos con un corto ciclo de vida sean accesibles.
- Procurar que los sistemas cerrados o con un ciclo de vida prolongado, sean abiertos y en espera a nuevas transformaciones.
- Diseñar los tipos de conexiones para optimizar materiales, su rendimiento, ciclo de vida y secuencia de ensamble.
- Utilizar en lo mínimo el número de conexiones para permitir el fácil desmontaje.

En general, es importante separar las cuatro funciones de un edificio, que son: la capacidad de carga, la envolvente, los servicios, y la funcionalidad. Como se explico anteriormente, cada función tiene diferente ciclo de vida; como consecuencia, cada elemento del edificio deberá dedicarse a cumplir solo a una función.

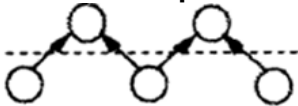
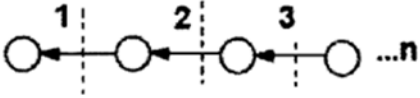
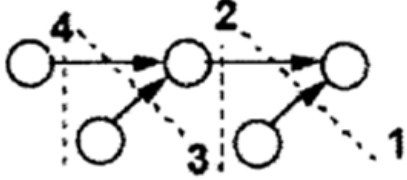
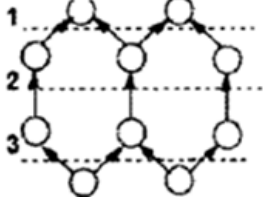
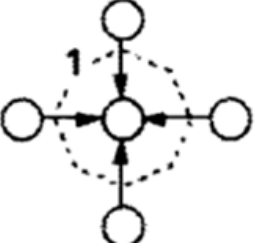
A cada capa le corresponderá una función y deberá ser claramente definida como componente.

Los edificios tienen que ser organizados como subsistemas. Un subsistema corresponde a un conjunto de elementos de construcción que cumplen con funciones de modo independiente. Gracias al principio de independencia entre las funciones, su producción, montaje y desmontaje se puede hacer por separado. Por lo tanto, una posibilidad sería la de prefabricar.

Se tiene que diseñar para permitir la adición de nuevos elementos y prever las necesidades futuras y capacidad de adaptación. Así mismo, favorecer la relación indirecta entre los subsistemas a través de sus conexiones y estandarizar el sistema estructural para descomponerla en formas simples con medidas estándar.

Finalmente los escenarios paralelos para la secuencia de montaje, reducirá significativamente el tiempo de espera en el sitio para el montaje y desmontaje. Las razones que explican esto son que, en relación con el proceso de montaje, varias acciones se pueden realizar al mismo tiempo con equipos diferentes, y que, en el caso contrario, será menor el tiempo y significa ahorro; un esquema paralelo reduce el número de pasos necesarios para acceder a un elemento. Ver Tabla 3.

Tabla 3: Análisis de diferentes esquemas de ensamble.

Esquema de ensamble	Análisis del esquema
<b>Ensamble paralelo</b> 	<p><i>Mejor escenario para la deconstrucción.</i></p> <p>El nivel de flexibilidad de las conexiones determinará el nivel de adaptabilidad.</p>
<b>Ensamble secuencial</b> 	<p><i>Peor escenario para la deconstrucción.</i></p> <p>El patrón de ensamble lineal crea un alto nivel de dependencia entre elementos.</p>
<b>Ensamble interconectado</b> 	<p><i>No favorable para la deconstrucción.</i></p> <p>Es una mejora del esquema anterior, por lo que este análisis sigue siendo secuencial.</p>
<b>Ensamble de circuito cerrado</b> 	<p>Es una combinación de ensamble secuencial y paralelo. El nivel de dependencia es bajo. Este esquema depende de la proporción secuencial versus proporción paralela.</p>
<b>Ensamble por gravedad o atracción</b> 	<p><i>Favorable para la deconstrucción.</i></p> <p>Hay un elemento central al que se conectan otros elementos a través de un ensamble paralelo. El nivel de flexibilidad de las conexiones determinará el nivel de adaptabilidad.</p>

Un ejemplo que aplica estas teorías es el caso de la vivienda unifamiliar ubicada en Holanda llamada "Smart House", ver Figura 41, subsidiada por el gobierno holandés y bautizada como IDF (industrial, flexible and dismantled buildings) o (edificio industrial, flexible y deconstruible).





Figura 41: Smart House, Holanda.

La estrategia era lograr flexibilidad del edificio a través de una estructura ligera de acero. Las fachadas, suelo, cubierta y particiones interiores fueron ensamblados en paralelo y cada sistema podría ser reemplazado con facilidad sin la interferencia de los otros. Las instalaciones están distribuidas a través del piso flotante. De acuerdo con lo anterior la casa inteligente cumple con los aspectos de flexibilidad: intercambio de fachadas, cubiertas, particiones interiores, instalaciones, extensión de la estructura y adaptabilidad a futuras necesidades. Ver Figura 42.



Figura 42: Armado paralelo de elementos.

La deconstrucción es posible con facilidad, ya que su peso es de 25,000 Kg. incluyendo su estructura (entre 5000 y 8000 Kg.) una quinta parte de una casa tradicional. Podemos tomar en cuenta que todos los elementos fueron realizados en una fábrica y transportados hasta el sitio para su ensamblado, pero de igual manera se pudo armar en fábrica logrando un módulo completo, terminado, y transportado hasta el sitio. Todos los elementos de la casa inteligente pueden ser desarmados en uno solo, posibilitando su reinserción al proceso de construcción. Figura 43.



Figura 43: Estructura flexible.

El análisis de los materiales utilizados ha promovido el reciclaje, la mayoría de sus componentes son de acero, mismo que puede fundirse y reinsertarse al proceso constructivo o puede reutilizarse como el mismo elemento y ahorrar costes de producción o energías. Otro material utilizado son las placas de yeso, fabricadas con papel, cartón, por lo tanto estas placas podrán reinsertarse al proceso de producción y construcción. Ver Figura 44.



Figura 44: Material de los elementos.

Los edificios modernos no están diseñados para ser deconstruidos, así mismo todos sus elementos no están diseñados para ser desensamblados y los materiales utilizados no permiten su reciclaje o se hace difícil. Como tal, la combinación de modernidad y construcción tradicional, están en constante renovación y modernización; que como edificio rígido no permite la facilidad de remover o reemplazar sus elementos o componentes, resultando un gasto energético razonable y generación de residuos. Por tanto es necesario diseñar edificios flexibles, adaptables a las nuevas condiciones funcionales y tecnológicas, logrando así edificios dinámicos.

## 2.6 VALORACIÓN DE CONCEPTOS

La evaluación del Diseño Sostenible se basa en tres indicadores que reflejan el nivel de la independencia e intercambio de elementos a diferentes escalas. Independencia la definen a través de los elementos estructurales; el intercambio es optimizado a través de los elementos, materiales y conexiones. Estos tres indicadores son las características estructurales, las características del producto y las características de conexión o interfaz. Ver Figura 45.

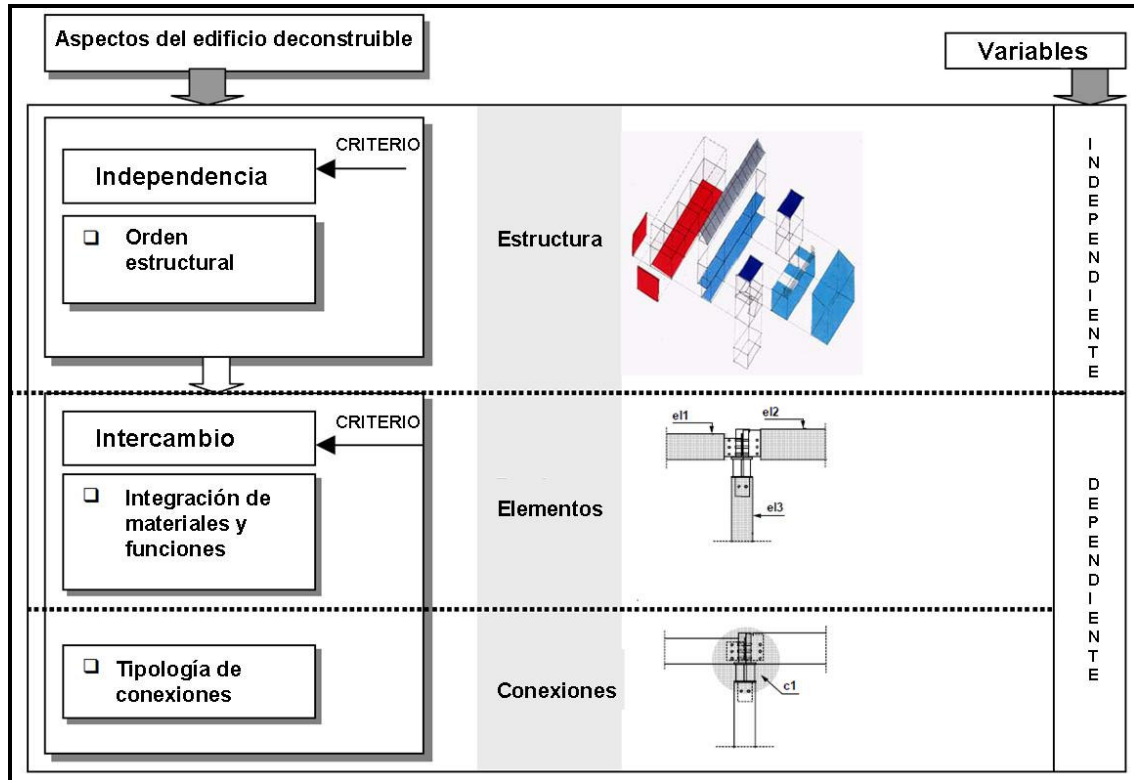


Figura 45: Indicadores del edificio.

En este sentido, los factores que determinan la independencia de los componentes del edificio son la sistematización, la jerarquía y la relación entre ellos. Por otra parte, los factores que definen el intercambio entre sus elementos son los tipos de elementos y materiales, así como el tipo de conexiones. Ver Figura 46.

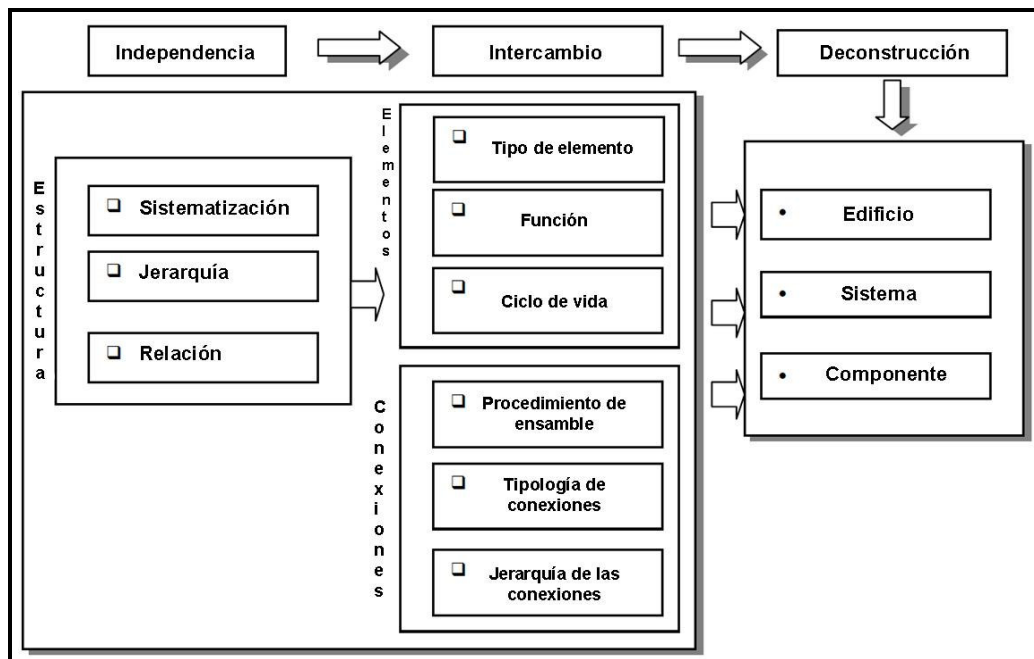


Figura 46: Factores del edificio.

Como se ha mencionado antes, en la última década la vida útil, técnica y funcional, del edificio ha sido de 50 años aproximadamente. Actualmente los edificios son demolidos con 15 años de antigüedad para construir nuevos edificios, es decir, la vida de servicio de los edificios son cada vez más cortas e influye directamente en los costes de inversión, utilización de recursos, energía, demolición y generación de residuos.

Mucho se debe a la naturaleza humana, siempre cambiante, moderna, dinámica, por lo que se demandan nuevas necesidades.

Por consiguiente, cada nuevo uso en los edificios implica cambios, demandando utilización de recursos, energía, polvo, ruido, demoliciones y generación de residuos; y si no existe una solución técnica, viable, del edificio para adaptarse a las nuevas demandas, este llegará al final de su uso y será demolido.

Con el objetivo de lograr edificios flexibles, adaptables, será necesario el uso de procesos de diseño que permitan optimizar los costes de construcción, la explotación del edificio, en otras palabras, lograr la optimización del edificio a partir de su flexibilidad y adaptabilidad a las nuevas necesidades. Como se observa en la siguiente figura, el concepto de diseño tiene que centrarse en los posibles escenarios para la explotación del edificio, tomando en cuenta su desmontaje, fomentando la reutilización y reciclado de sus materiales o componentes. Ver Figura 47.

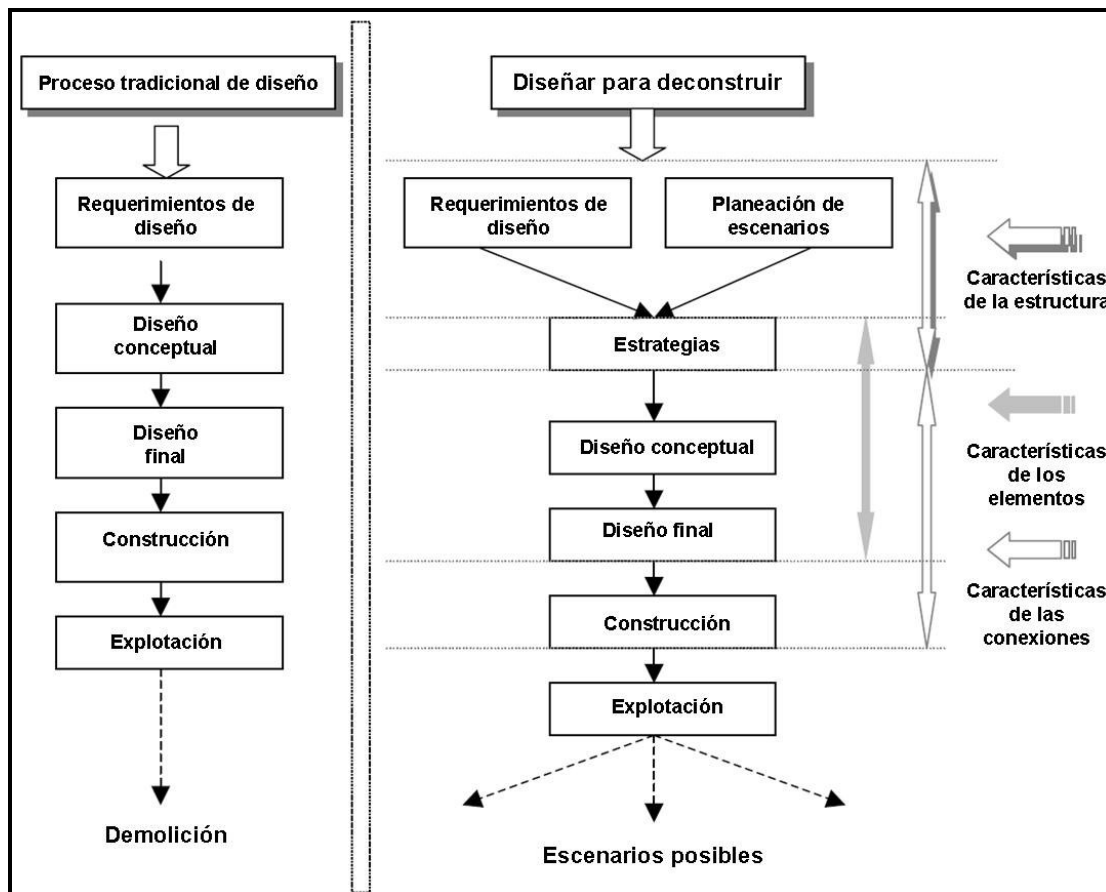


Figura 47: Escenarios del edificio.

En términos generales la figura anterior implica, además del uso consciente de los recursos, mejorar la calidad de vida, es decir, construir para lo que las personas necesitan.

En otras palabras, las nuevas edificaciones deberán observarse como edificios construidos para responder a las necesidades de la gente y dichas necesidades no son uniformes. Estos edificios deberán adaptarse a las diferentes a los distintos ciclos de vida de los usuarios así como mantener su estándar de calidad.

Esos ciclos de vida de los usuarios traen consigo nuevos requisitos del edificio, así como medioambientales, y si dichos requisitos no cumplen con las demandas los edificios son abandonados por la incapacidad de adaptación y como consecuencia se derriban.

Dichos requisitos deberán adoptar y adaptar nuevas tecnologías así como cambios sociales, además de ajustarse a las actividades dinámicas del mercado y conciencia ambiental.

El problema de la construcción tradicional es que los desarrolladores, constructores o arquitectos visualizaban los edificios como algo permanente y no observaban los cambios en el futuro.

Si aplicasen un posible escenario para el diseño deconstruible, deberán tomar en cuenta las característica de la estructura, capacidades de carga, forma, distribución, etc. Así mismo dicha estructura deberá formarse por distintos elementos que

cumplirán con distintas funciones como soportes, cargas, desconectables o fijos etc. Estas características se cumplirán dependiendo de las características de las conexiones, si son atornilladas, soldadas, fijas, etc.

Lo que busca el diseño al aplicar escenarios es que al final del ciclo de vida del edificio se pueda explotar, es decir, que todos sus elementos, estructura, materiales, etc. puedan cerrar el ciclo de los materiales y convertirse en recursos de nuevos edificios.

Con lo anterior se busca tomar decisiones oportunas y correctas tomando en cuenta los escenarios para los distintos usos de los diferentes materiales o elementos. Esto significa que la deconstrucción del edificio tendrá que ser analizado e integrado desde el inicio del diseño, de tal manera que pueda satisfacer demandas en todas las fases de su ciclo de vida, desde el diseño hasta la deconstrucción.

Queda claro que el ciclo de vida de la construcción actual, de los materiales así como sus componentes, es lineal porque terminan en demolición y eliminación de los residuos.

Con la aplicación analítica del diseño se puede cambiar la demolición por la deconstrucción, desmontando todos los elementos, materiales, para ser reutilizados o reciclados.



### 3 MÉTODOS PARA LA ADAPTABILIDAD Y DECONSTRUCCIÓN

#### 3.1 CONEXIONES

Otro aspecto importante, y quizá, que ha impedido la proliferación de la construcción adaptable y flexible, es el diseño de las conexiones.

En general se definen tres posibles tipos de conexiones: directa (integral), indirecta (accesorio), y rígida

La conexión directa (integral), se define por su geometría formando una conexión completa por todos sus lados, Figura 48. Hay dos tipos de conexión integral: superpuestos (overlapped) e interconectados (interlocked).



Figura 48: Conexión integral.

Las conexiones superpuestas (overlapped) son utilizadas como conexiones entre componentes exteriores (fachadas) o entre componentes verticales y horizontales (cubierta). Su desensamble dependerá del tipo de material utilizado en los elementos, de la secuencia de ensamble, de la posición jerárquica de los componentes y su relación con otros componentes. Figura 49.

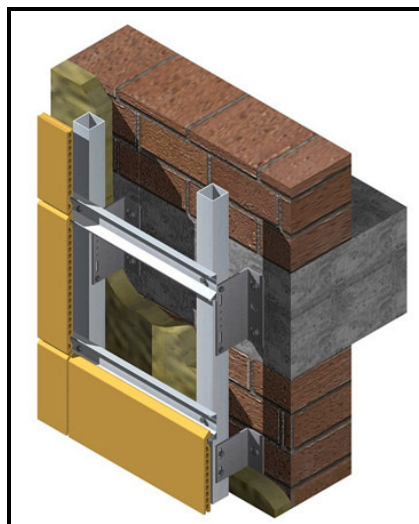


Figura 49: Conexión superpuesta (overlapped)



Las conexiones interconectadas (interlocked) son conexiones internas, su geometría es diferente. Es decir, la forma de la conexión permite solo el ensamble secuencial, lo que dificultaría el desensamble. Figura 50.



Figura 50: Conexión interconectada (interlocked)

La conexión indirecta (accesorio) son aquellas en las que sus partes adicionales se utilizan para complementar otras conexiones. Se pueden distinguir dos tipos de conexión indirecta: interna y externa. Figura 51.

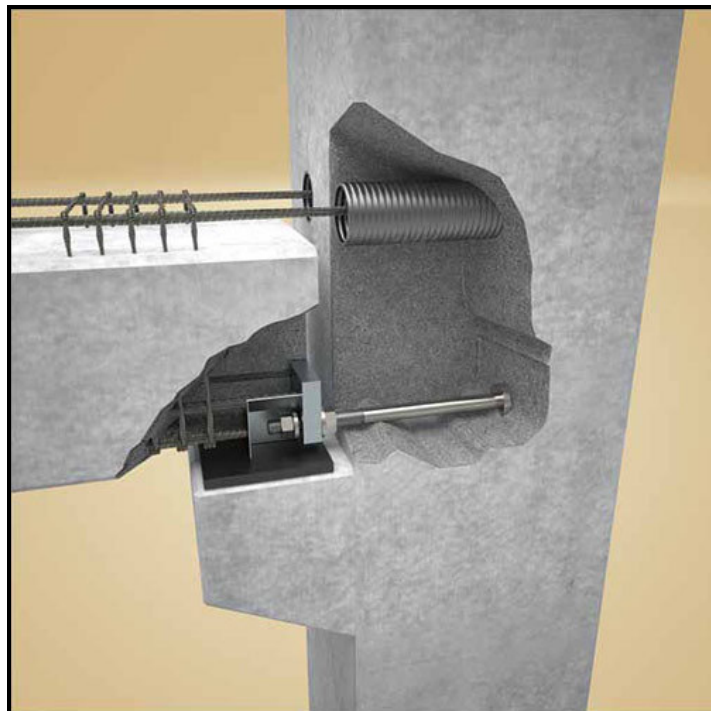


Figura 51: Conexión indirecta interna.

La conexión indirecta interna incorpora un elemento (accesorio) libre que une a los demás elementos, es decir, se inserta entre dos o más elementos a unir. La ventaja de este tipo de conexión es que posee la forma similar a los elementos a unir. La desventaja es que puede ser difícil desmontar elementos por la construcción secuencial. Figura 52.



Figura 52: Conexión indirecta interna.

La conexión indirecta externa, en forma de accesorio, permite el desmontaje con facilidad; dependerá de la forma de la estructura y la utilización de sellos en los exteriores. Figura 53.

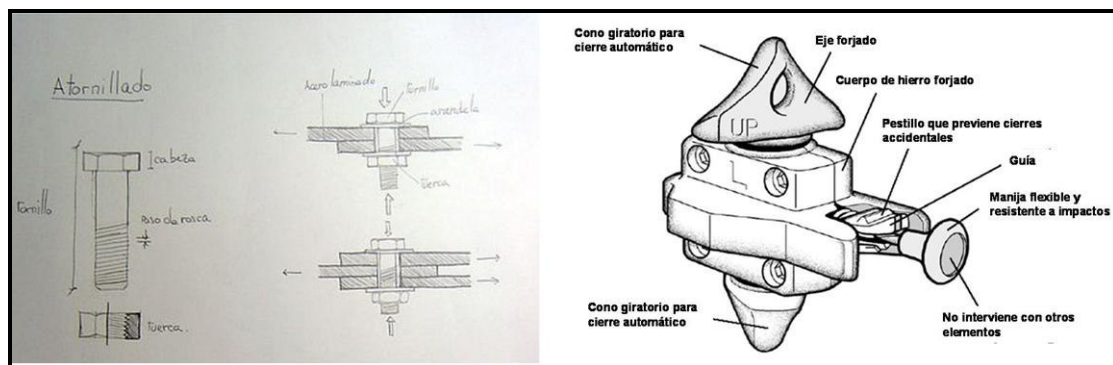


Figura 53: Conexiones indirectas; tornillo y cierre giratorio (twistlock)

Las conexiones rígidas, son conexiones entre dos o más componentes, son fabricados en sitio con materiales químicos, por ejemplo, hormigón. Su construcción así como su ensamble necesitan de una labor intensiva; necesitan encofrados entre columnas, trabes, cubiertas, suelo o muros. Por lo tanto su desensamble es casi imposible. Figura 54.



Figura 54: Conexiones rígidas.

Los tipos de conexiones estarán determinados por el tipo de material de los elementos (hormigón, acero, madera), así mismo los tipos de accesorio adicionales.

Para solucionar el problema de las conexiones, se pueden tomar dos criterios en el diseño de edificios flexibles:

- Los elementos o componentes deberán mantenerse separados, para evitar la incorporación en otros componentes o sistemas.
- Las técnicas de conexiones rígidas deberán ser reemplazadas por las flexibles. Esta condición deberá ser aplicada en todos los niveles del edificio, de manera que todos los sistemas del edificio sean desmontables, cada componente y elemento sea reemplazable y todos los materiales utilizados sean reciclables.

De acuerdo con lo anterior las conexiones pueden ser agrupadas en orden jerárquico de rígidas a flexibles. Como se observa en la Figura 55, se muestran siete distintas conexiones que van de lo rígido a flexible, de juntas químicas a juntas secas. La primera figura representa la conexión entre dos recursos naturales materiales, que al unirse provocan una unión y reacción química (acero y hormigón), por lo tanto no pueden ser reciclados o reutilizados en su totalidad, provocando únicamente la demolición. La segunda figura permite la deconstrucción de elementos solo si todo el edificio es reconstruido o demolido. La tercera figura representa dos elementos conectados por un material químico (ladrillo y mortero). La cuarta figura muestra dos elementos conectados con un accesorio, y si un elemento tiene que ser sustituido será necesario remover toda la conexión y por lo tanto desmantelar el sistema (fijación entre dos elementos con tornillo y tuerca), finalmente las figuras 5, 6 y 7 representan las conexiones secas o flexibles; la posición de los accesorios y elementos a conectar determinarán el potencial de desensamble del edificio.

		Tipo de conexión	Representación gráfica		Dependencia
Rígida		1. Conexión directa y química. Dos elementos están fijos siempre. No se pueden reutilizar, ni reciclar.			$m1 \rightarrow e2$
		2. Conexión directa entre dos componentes prefabricados. Dos elementos son dependientes en su ensamble y desensamble; no se pueden reutilizar.			$e1 \rightarrow e2$
		3. Conexión indirecta y química. Dos elementos están fijos siempre y un material que los une. No se pueden reutilizar, ni reciclar.			$e1 \xrightarrow{m1} e2$
		4. Conexión directa y elementos unión adicionales. Dos elementos están conectados con un elemento que puede reemplazarse.			$e1 \rightarrow c1 \rightarrow e2$
		5. Conexión indirecta con un tercer componente dependiente. Dos elementos están conectados con otro elemento. Dependen entre ellos.			$e1 \rightarrow c1 \rightarrow e2$
		6. Conexión indirecta con un tercer componente independiente. Hay dependencia en el ensamble y desensamble de los elementos. Se pueden reutilizar o reciclar.			$e1 \rightarrow c1 \rightarrow e2$
Flexible		7. Conexión indirecta con dispositivos de fijación adicional. El cambio de un elemento no implica el cambio de otro. Todo se puede reutilizar o reciclar.			$e3 \rightarrow c \leftarrow e1$ $e2 \rightarrow c$

Figura 55: Tipología de conexiones; de rígidas a flexibles.

A diferencia de las conexiones que utilizan juntas rígidas, fricción, morteros, pegamentos, selladores, o remaches, los pernos, tornillos, clavos, son la mejor opción de conexión para la adaptación o deconstrucción, porque están a favor de conexiones indirectas con juntas secas.

En términos generales un edificio es portador de funciones específicas y subfunciones; su independencia para lograr su flexibilidad y adaptabilidad dependerá del tipo de conexión que utilicen así como los materiales de cada elemento.

Los edificios deconstruibles deberán diseñarse con simplicidad y accesibilidad en sus conexiones, así como minimizar (estandarizar) los tipos de conexión, que definirán el grado de libertad o independencia entre los componentes del edificio. Es decir, las conexiones deberán permitir transparencia, regularidad y simplicidad de los edificios.

## **3.2 MATERIALES Y ESTRUCTURAS**

### **3.2.1 ANÁLISIS DE LOS MATERIALES**

Los materiales utilizados en la construcción de edificios tienen un gran impacto medioambiental, causado por la extracción, procesamiento, transporte, uso y eliminación. Este impacto se presenta en distintos ordenes, mundial, regional y personal, afectando al clima, biodiversidad así como en la salud de las personas.

Si los recursos naturales empleados en la fabricación de materiales constructivos representan casi la mitad de todos los recursos consumidos en el planeta, entonces todos los implicados, arquitectos, ingenieros, técnicos, etc. deben tomar en cuenta las complejas y a veces contradictorias exigencias de los materiales de construcción.

Como tal no existe ninguna metodología como guía de elección de materiales para la construcción. En general se suele aplicar el concepto de energía incorporada, aunque a lo largo de la vida útil del edificio, esta representa solo el 10% de la energía total consumida.

En cuanto a la elección de materiales en la construcción de los nuevos edificios, tres datos importantes deben tomarse en cuenta:

- **Aprovisionamiento local de materiales pesados:** Lo ideal es que los materiales como áridos, piedra, ladrillo, etc. se obtengan en sitios cerca de obra, reduciendo la energía consumida por el transporte y como tal contaminación por ruido, aire, etc.
- **Aprovisionamiento global de materiales ligeros:** La mayor cantidad de energía consumida en este concepto es por el proceso de fabricación de los elementos tales como aluminio, cobre, acero, etc. Como tal estos materiales una vez fabricados pueden utilizarse, reutilizarse o reciclarse reduciendo así la sobreexplotación de recursos naturales y con ello permite al planeta regenerar y reservar recursos para la sociedad futura.
- **Potencial de reciclaje:** Además de considerar las dos anteriores, no solo se debe considerar la energía incorporada al principio del proceso, sino también es necesario observarlo al final del ciclo de vida del edificio como deconstrucción o demolición.

Entre los materiales más utilizados y que permiten la deconstrucción, demolición; promueven la reutilización y reciclaje, están la madera, mampostería, hormigón y acero.

La madera tiene un gran potencial de reutilización al final de ciclo de vida. Muchos edificios construidos con madera representan una fuente de recursos para las nuevas edificaciones. También, mucha madera no se utiliza para construir elementos del edificio, se utiliza en pisos y muebles demeritando los beneficios de la reutilización.

También este material puede presentar problemas al deconstruirse, puede verse en los extremos de los elementos, dañados por los clavos o conexiones anteriores; también presentan daños por las instalaciones eléctricas o sanitarias, pero finalmente no representan un problema técnico para salvar y reutilizar dichos elementos.



La madera representa costes elevados, por material importado y por adquisición como material nuevo. Por lo tanto la madera recuperada de otras edificaciones y reutilizada en las nuevas, representará un coste incentivo.

En general las soluciones para evitar el daño a los elementos de madera al deconstruirse, están en el diseño de nuevos elementos. Con esto se podrán construir paneles de madera que permitan su reutilización completa o de lo contrario desmantelar todo el elemento para reutilizarse en distintos sitios y con el diseño de las conexiones se evitará el daño a dichos elementos.

La mampostería se ha reutilizado en toda la historia de la construcción. La piedra utilizada en las antiguas edificaciones y se reutilizaba en otras construcciones. Como tal la piedra es un material duradero y fácilmente deconstruible siempre que provengan de edificios construidos con mortero tradicional, que no tenga cemento portland.

En la actualidad, el ladrillo es uno de los materiales más recuperados. Es un material térmico, confortable. La desventaja de este es que no se recupera fácilmente por la dificultad de separación del mortero y el ladrillo

El hormigón es otro material que representa el reto más importante para su reutilización. Actualmente es difícil imaginar como un elemento de hormigón no puede recuperarse para reutilizarse en otro sitio. Esto es porque la estructura es un conjunto de elementos contiguos, sin juntas que permitan la separación. Cada elemento es pesado y difícil de mover y muchas veces cada elemento es diseñado especialmente para cumplir un trabajo exclusivo. El hormigón puede reciclarse como un material secundario, es decir, triturar al elemento y utilizarse como agregados.

En ese sentido, cuando el hormigón se tritura pierde sus propiedades originales, es decir, el material se degrada a un árido secundario y no se utilice como elemento estructural.

En el pasado, cuando los edificios eran inhabitables y por tanto demolidos, todo el material era enviado a tiraderos o rellenos, perdiendo su valor material.

En la actualidad, recuperar, triturar, reutilizar y reciclar hormigón podría significar que de cada 1500 metros de pavimento se podrían recuperar 6000 toneladas de material. Como tal dicho podrá ser reutilizado para bases de carreteras, protección de erosión del suelo, material de drenaje o absorción, bases para cimentaciones y en porcentaje como agregado para hormigón nuevo.

No son muchos los productos de hormigón que están diseñados para reutilizarse, aún así, muchos siguen prefiriendo comprar o construir nuevos elementos antes que recuperar otros, aunque estén en óptimas condiciones para recuperarse, limpiarse, reutilizarse o en su defecto triturarse para un nuevo ciclo.

El acero también es un material para reutilizar, sin embargo a diferencia de la madera, es difícil salvar pero se puede separar de otros materiales. Siempre recuperar un elemento de acero es mejor que reciclar, aún así el acero puede reciclarse por sí mismo para fabricar el mismo acero.



Este material es también llamado el Envirometal, ya que es el metal que más se recicla. Este puede ser reciclado una y otra vez sin perder sus propiedades se estima que para el año 2009 un 98% del acero utilizado en la industria de la construcción es reciclado. Figura 56.

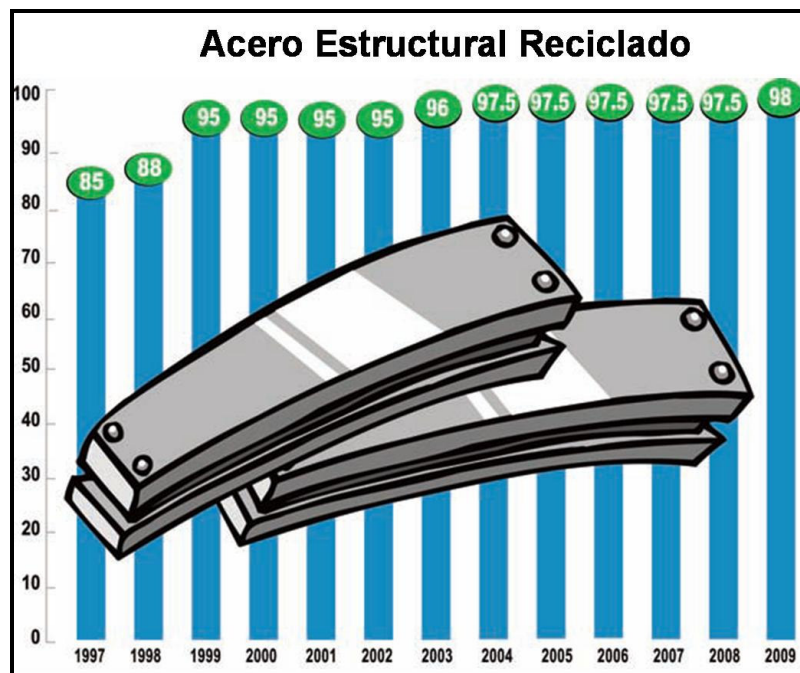


Figura 56: Porcentaje de acero estructural reciclado.

Aún así el acero puede dificultar su recuperación cuando esta en combinación con otros materiales, por ejemplo acero y hormigón, en este caso la recuperación del acero pierde algunas propiedades por los diferentes tratamientos que se le da para purificar el mineral, más a últimos tiempos con el uso de nuevas tecnologías se estima que se puede recuperar y reciclar el 70% del acero combinado con otro material (acero de refuerzo-hormigón) Figura 57.

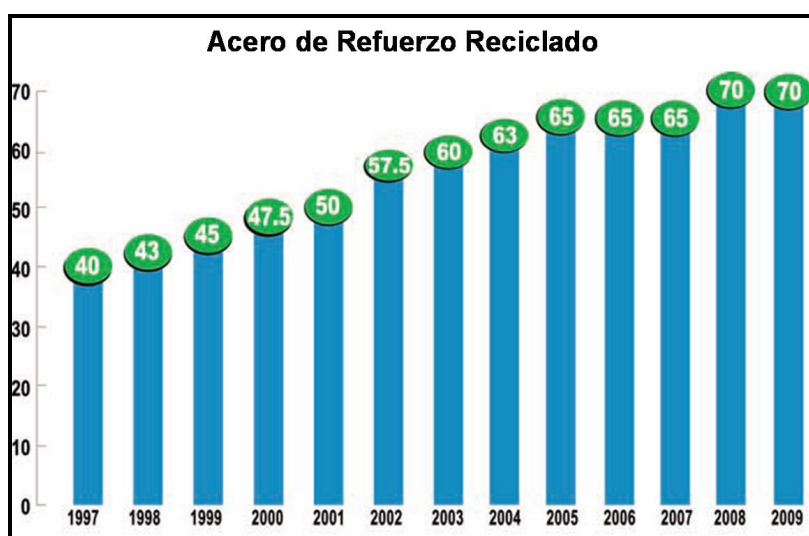


Figura 57: Porcentaje de acero de refuerzo reciclado.

Una de las características principales de los edificios de acero es que pueden ser diseñados para simplificar su construcción, proponer su deconstrucción para incrementar el ciclo de vida del material. Por lo tanto la utilización de acero representa ventajas respecto a otros materiales. Como material es reciclable infinitamente y como elemento puede utilizarse en otro edificio.

Los elementos de acero atornillados hacen más fácil la deconstrucción, pero requieren más parches al refabricarse, pero estos pueden ser desmantelados y reconstruidos en otro sitio sin necesidad de refabricar el acero. Los elementos de acero fijados con soldadura requieren de menos modificaciones, sin embargo hacen difícil su deconstrucción.

Una posible solución es la utilización de elementos prefabricados, que vienen como elementos estándar y se fijan mecánicamente. La desventaja es que al colocarse un elemento sobre otro y añadirse una losa por encima de estos, hace complicada la recuperación de cada elemento. Por lo tanto tendrá que ser otro aspecto a tratar en el proceso de diseño.

Lo que busca el diseño sostenible es prolongar la vida útil de los materiales utilizados en la construcción, es decir, cerrar su ciclo de vida. Como tal los nuevos edificios deberán ser deconstruibles que mucho dependerá de sus conexiones y a su vez permitirá la recuperación de los materiales.

El acero, madera y hormigón son buenos candidatos para su reutilización, por otro parte el vidrio y los plásticos son mejores para su reciclaje. Sin embargo, el acero es más adecuado que el hormigón, que por ser un material húmedo requiere de calidad para su producción. Independientemente del material utilizado para un componente, los ensayos de resistencia deben realizarse antes de volver a utilizarse.

Por lo tanto, los materiales han tenido mayor demanda son el acero y el hormigón; como tal la elección de alguno siempre representa un dilema. Por ejemplo, la utilización del acero lo rechazan a favor del hormigón, debido a su alta energía incorporada y baja capacidad térmica, sin embargo, el acero puede reciclarse muchas veces sin perder propiedades y por tal permite explotar su energía incorporada por las futuras generaciones.

### 3.2.2 ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS

En la construcción, la estructura está diseñada para soportar cargas vivas, muertas y fuerzas cortantes. Esta es la característica principal de cualquier edificio además de ser diseñados para permitir el mayor número de escenarios de ocupación, a fin de que tenga una vida útil prolongada. Esto se puede lograr de distintas formas, por ejemplo, diseñar espacios con alturas suficientes; reducir el número de columnas que puedan comprometer el potencial de adaptación a futuras demandas, etc.

Se pueden distinguir tres tipos de estructuras: mampostería, marcos ligeros y paneles. En lo siguiente se muestran sus ventajas y desventajas. Tabla 4.

Tabla 4: Tipología de estructuras.

Tipo de estructura	Ventajas	Desventajas
Mampostería	<ul style="list-style-type: none"><li>- Los componentes pueden reducirse en pequeños elementos, permitiendo su reutilización por unidades.</li><li>- Los elementos monolíticos pueden triturarse para reciclarse.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Los elementos con juntas químicas, reducen las propiedades del elemento.</li><li>- Si los elementos tienen refuerzo, será complicada su deconstrucción.</li><li>- Se requiere maquinaria pesada para su demolición.</li><li>- Si los espacios tienen muros de carga, complica futuras adaptaciones.</li></ul>
Marcos ligeros	<ul style="list-style-type: none"><li>- La eficiencia estructural permite múltiples adaptaciones.</li><li>- Permite la deconstrucción con facilidad.</li><li>- Puede ser construido por separado o en fábrica.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Se dificulta la deconstrucción si no se diseñan las conexiones apropiadas.</li><li>- Muecas, huecos y resinas imposibilitan la reutilización.</li><li>- Dependiendo del tamaño se podrá o no deconstruir.</li></ul>
Paneles	<ul style="list-style-type: none"><li>- Estructuralmente eficiente.</li><li>- La construcción en fábrica permite la precisión.</li><li>- La construcción minimiza los residuos.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Requiere deconstrucción especializada</li><li>- Los elementos son construidos como uno y dificulta su deconstrucción.</li></ul>

En el cuadro anterior se muestra que los sistemas estructurales aligerados y panelizados son los mejores para el diseño adaptable y deconstruible, siempre y cuando estos criterios se incluyan en todo momento en la fase de diseño. Una ventaja de estos dos sistemas es que facilitan el uso de elementos ligeros, reduciendo el tamaño de sus componentes, que se traducen en una mayor accesibilidad a los mismos y como tal mayor posibilidad de adaptabilidad a las nuevas exigencias.

Existen seis formas clásicas de los edificios, Figura 58, estas son: el cubo, la valla, el almacén, en eslabón, en línea y la torre. Los estudios muestran que la construcción en forma de cubo es energética y materialmente más eficiente que los otros.

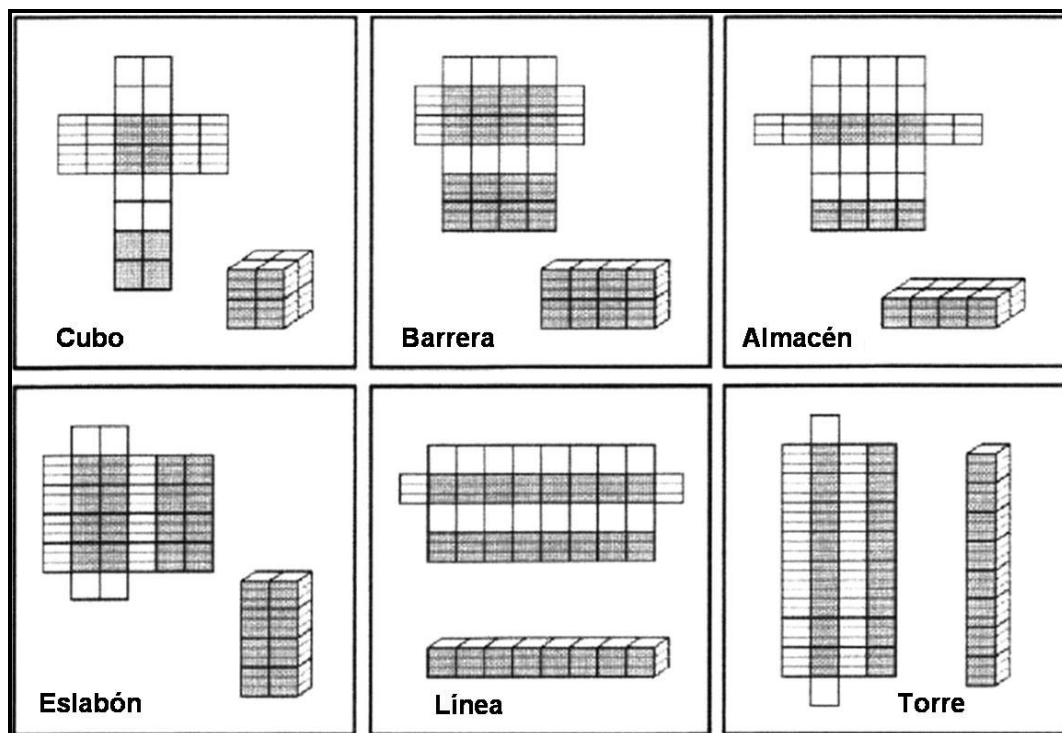


Figura 58: Formas clásicas de construcción.

Esta mayor eficiencia es porque las estructuras compactas son poco profundas logrando el máximo ahorro energético y por tanto adaptable a distintas demandas. En definitiva, la forma cúbica es la forma estructural que se ajusta a los requisitos futuros en adaptación y deconstrucción.

La elección de materiales, para ser sostenible en la construcción, siempre será un dilema, acero u hormigón; continuando en esa línea, la elección de las estructuras también lo es, es decir, continuar con la construcción tradicional o con la construcción industrializada, prefabricada.

En ese sentido, para ser sostenible será necesario que las nuevas estructuras sean adaptables y deconstruibles; si la figura anterior muestra que el cubo es el que cumple con estos conceptos, entonces el nuevo paradigma de la construcción es que los edificios deberán observarse como elementos contenedores o como cajas.

Como tal las cajas se traducen en elementos tridimensionales, ligeros, que dan lugar a edificios deconstruibles, reutilizables o reciclables, permitiendo también el cierre del ciclo de vida de los edificios, es decir, disminuir impactos ambientales, entre ellos el cero de residuos.

Como ejemplo trivial, las cajas han servido desde siempre para guardar o mover cualquier tipo de cosas, aumentando su utilidad cuando son del mismo tamaño (medida estándar) y se pueden apilar, ver figura anterior. Del mismo modo, apilando, uniendo elementos cúbicos o elementos tridimensionales habitables, se podrán

construir distintas formas de edificios, como si de contenedores de transporte se trataran.

El interés por la utilización de este tipo de módulos cúbicos y contenedores reciclados de transporte queda implícito por los muchos ejemplos de este tipo, como propuestas o concluidos y habitables.

Estos módulos tridimensionales se construyen con estándares ISO para poder transportarlos en un camión, ya sea de la fábrica al sitio o viceversa. Como tal estos elementos, con la unión, adición o apilamiento de sus lados y prescindiendo de uno o más cerramientos, forman espacios mayores o espacios repetitivos.

Los materiales más utilizados son la madera, el hormigón y el acero galvanizado o lacado, con perfiles laminados y secciones tubulares; si es necesario, utilizan perfiles extraídos para mejorar las prestaciones estructurales como aumento de luz entre elementos y resistencia al apilamiento de otros elementos.

Los módulos tridimensionales de madera se fabrican en planta a base de bastidores de madera laminada, recubiertos de tablas o tableros del mismo material; también se fabrican a base de paneles macizos de cierta capacidad estructural, formado por varias capas de madera laminada y espesores entre 90 y 100 mm o más. Con esto se obtiene cierta capacidad estructural que lo que permite apilar hasta 4 niveles de módulos; también los gruesos de las cámaras en los muros exteriores permiten alojar un aislamiento de hasta 200 mm. Figura 59.



Figura 59: Módulo de madera.

El transporte de estos elementos es relativamente fácil, ya que dichos elementos cumplen con estándares de medidas ISO, por lo que sus medidas son entre 6 y 12 m de largo por 2,44 de ancho y alto. En ambos casos algunos laterales no tienen paneles para permitir su acoplamiento a otros módulos, que en conjunto forman un edificio.

Los módulos tridimensionales de hormigón basan su planteamiento en la racionalización de recursos y modulación de la construcción tradicional; con esto, dichos módulos prefabricados se realizan a partir de una estructura de hormigón armado hasta lograr su acabado final. Figura 60.





Figura 60: Módulo de hormigón.

Este tipo de módulos de hormigón hace necesario un estudio detallado de su construcción, pues se combina con distintos materiales y que en general representan un elemento rígido. Dicho estudio influye desde su diseño, delimitado por las medidas estándar de transporte, de 6 a 12 de largo, por 2.44 de alto y ancho.

Dichos módulos son semiacabados en planta y transportados hasta el sitio de colocación; en este caso, al ser un elemento más pesado que la madera, hace necesaria la utilización de grúas de mayor carga. Estas, a su vez, colocan los elementos uno en seguida o encima de otro para después colocar los anclajes mecánicos. Finalmente se hormigonan dichas juntas para transmitir esfuerzos. Con este sistema tridimensional de hormigón se podría alcanzar hasta 6 plantas de altura.

Los módulos de acero se estructuran a través de un bastidor tridimensional, ensamblado por un forjado, cuatro pilares, cubiertas y conectado el conjunto mediante tornillos, o de otra manera, una estructura en forma de prisma, monolítico y sus conexiones soldadas. Figura 61.



Figura 61: Módulo de acero.



Los perfiles tubulares y laminados no exceden los 3 mm de espesor en las paredes y en los extraídos no pasan de 140 mm. Con estas características podrían construirse edificios de hasta tres niveles sin la necesidad de una estructura independiente.

El peso de estos elementos va de los 150 a 300 Kg/m<sup>2</sup>; esto depende de los forjados que se emplean, ligeros con un tablero contrachapado o pesados con una capa de hormigón para mejorar una mejor barrera acústica o reducir las vibraciones, aunque las losetas de PVC son las más habituales. En los cerramientos verticales interiores y exteriores emplean paneles sándwich de 30 a 60 mm de espesor formados por dos hojas de acero lacado, grecado o gofrado y un aislante de 30 a 50 mm de espuma poliuretano (puede cambiarse por lanas naturales) y las carpinterías suelen ser de aluminio.

El material de las cubiertas se forma por un falso techo de acero lacado con aislante térmico de 40 a 60 mm en lana de vidrio o roca; por el exterior se protege con una hoja de acero galvanizado.

Por tanto un módulo de 6.0x2.4x2.4 m, sin incluir forjado de hormigón, puede pesar 2.250 kg, esto hace posible que los trabajos de carga y descarga sean realizadas por grúas montadas en el mismo camión.

Así mismo estos módulos podrían cumplir muchos ciclos de uso antes de su reparación, deconstrucción y utilización en otro sitio. Los fabricantes sitúan la vida útil de estos elementos en 30 años o más dependiendo del mantenimiento.

Como elemento tridimensional, todos sus elementos son intercambiables y sus conexiones flexibles, es decir, son atornilladas o fijas con seguros giratorios (twistlock) por lo tanto la deconstrucción, sustitución o reparación de elementos se realiza con facilidad.

En definitiva, el análisis y selección del tipo de estructura a utilizar será de igual manera un dilema, es decir, seguir aplicando la construcción tradicional o aplicar en su mayoría la construcción industrializada o modular.

Para que el sector constructivo sea realmente sostenible tendrá que ir cerrando los ciclos de vida de los elementos, ya sean de madera, hormigón o acero y en este sentido, reducir la utilización de materiales, optimizar su uso, reducir residuos y recuperar primero los elementos y en seguida los materiales para reinsertarse en el proceso constructivo.

### 3.3 PREFABRICACIÓN

Existen precedentes de prefabricación en la historia de la construcción que han acontecido para optimizar la utilización de recursos u optimizar sus procesos productivos.

Estos antecedentes pueden ir en tres generaciones. La primera generación, como se menciona antes, se dio en la arquitectura tradicional japonesa. Su construcción era con una estructura principal que soportaba las cubiertas y muros; y una segunda estructura que era flexible, podía deconstruirse o modificarse para futuros requerimientos de los usuarios, sin modificar la estructura principal y sin generar residuos de construcción. Como construcción vernácula, se destaca la utilización de la madera como material constructivo.

Como antecedentes también, podemos observar el palacio de cristal de Londres, construido para la exposición mundial de 1851. Fue la primera vez que se utilizó esta técnica en Europa, donde la estructura y revestimiento se fabricaron industrialmente para formar un edificio. De la misma forma, en 1889 se construyó para la exposición universal de París la torre Eiffel.

La segunda generación de la prefabricación, se llama industrialización de los sistemas. Su utilización se dio en la primera mitad del siglo XX mediante la producción masiva de vivienda. Su preconcepto se basaba en las tendencias de los años 50 y 60, además de la destrucción de la primera y segunda guerra mundial, cuyo objetivo era la construcción de vivienda de bajo coste a través de la prefabricación y repetición de elementos estándar. Representaba beneficio económico por los bajos costes de los edificios, mayor control de calidad, rapidez en la construcción, facilidad en el montaje y mejores condiciones de trabajo.

La construcción en serie, se vinculó con elementos a gran escala que repercutían directamente en la expresión arquitectónica. Es decir, la prefabricación había sido un fin como tal, con el reto de construir elementos cada vez más grandes para su montaje rápido y con ello ganar en tiempo y dinero.

En la actualidad, se puede ver el fracaso de sistemas prefabricados porque tienen el concepto de ahorro en costes y construcción rápida, y por tanto este enfoque es una idea errónea que retrasó la industrialización y su desarrollo. También ha fracasado por la resistencia a la utilización de estos sistemas por el limitado potencial de uso, es decir, la concepción errónea de que la construcción industrializada implica uniformidad, por lo que se sigue dependiendo de los métodos constructivos convencionales.

La tercera generación, implica la utilización de la tecnología para la construcción de los sistemas prefabricados, en otras palabras aprovechar la robótica para construir con exactitud. También la calidad de vida, en el contexto de la sostenibilidad, deberá ser entendida como un valor integrador de los nuevos sistemas constructivos.

Los sistemas avanzados de comunicación y tecnología han dado un enorme impulso a la industrialización de la construcción. Las restricciones en tamaño, procedimientos de montaje son menos problemáticos.

Con las tres generaciones de construcción industrializada, que va desde la construcción tradicional hasta los elementos construidos en fábrica, podemos observar una transición lenta de los sistemas constructivos, que van de igual manera, de los sistemas cerrados o estáticos a los sistemas abiertos o dinámicos.

Los sistemas cerrados se refieren a que los elementos se fabrican de acuerdo a las especificaciones del proyecto. Usualmente estos sistemas se aplican en la construcción tradicional y operan independientemente como en otras industrias, por ejemplo la automotriz. Producen y diseñan un rango limitado de elementos para simplificar el control de todo el sistema. Como se observa en la siguiente Figura 62, estos sistemas cerrados tienen elementos que cumplen una función pero dependen de otros componentes del edificio.

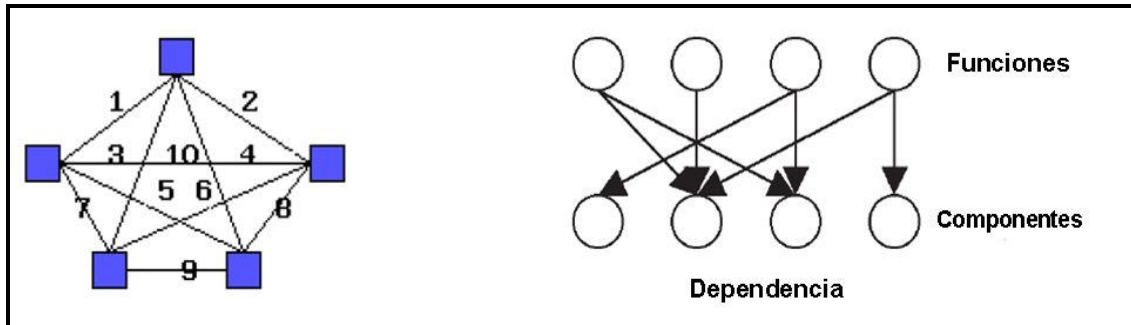


Figura 62: Sistemas cerrados.

Como podemos ver en la figura anterior, la característica principal de los sistemas cerrados es que son estáticos debido a su integración rígida de elementos, esto significa que los materiales, elementos, componentes, dependen unos de otros con la finalidad de cumplir su función dentro del edificio y es casi imposible remover algún elemento sin dañar algún otro.

Estos sistemas cerrados no son adecuados para la fácil transformación, tampoco dan lugar a múltiples, ni frecuentes capacidades de adaptación. En su mayoría, son uniformes, utilizan una tipología de construcción, elementos y conexión.

Se pueden catalogar tres tipos de construcción cerrada: paneles de hormigón, grandes encofrados y los módulos tridimensionales.

Los paneles de hormigón son elementos como láminas o losas de hormigón, armado de acuerdo a las especificaciones del proyecto, las dimensiones máximas son de 6x3x0.12 metros y su peso medio es de 500 kilos, resisten esfuerzos verticales, son arriostres del edificio y son divisiones interiores o exteriores. Los paneles como losas tienen una dimensión máxima de 1.20x5.50x0.18 metros y su peso medio es de 2 toneladas. Figura 63.



Figura 63: Panel de hormigón

Estos pueden incorporar su terminado aparente en interior y exterior, incorporan los distintos aislamientos como acústico y térmico; así mismo carpinterías e instalaciones. La conexión entre los paneles es de continuidad de elementos. Figura 64.

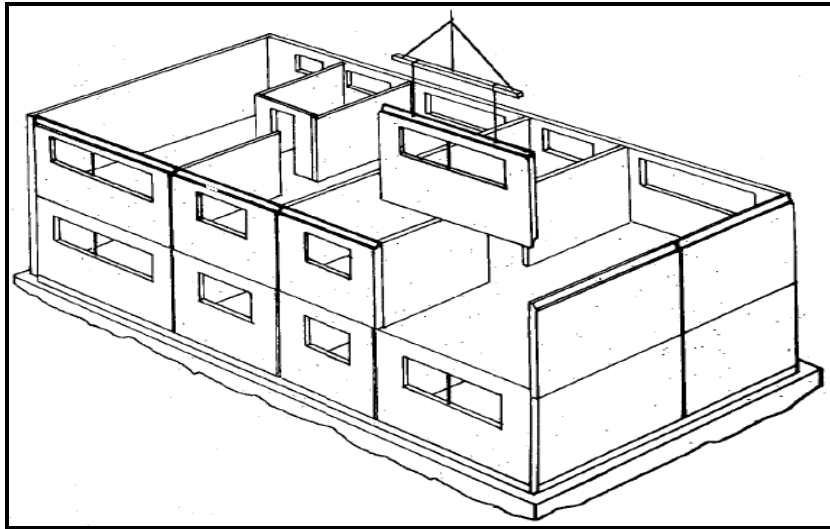


Figura 64: Continuidad de elementos (paneles)

Los grandes encofrados, también llamados encofrados túnel, son sistemas constructivos cerrados porque a través de un sistema de moldes específicos se da lugar a un conjunto de láminas estructurales, transversales y verticales. Son elementos rígidos porque son hormigonados en sitio y vistos como elemento único. Figura 65.

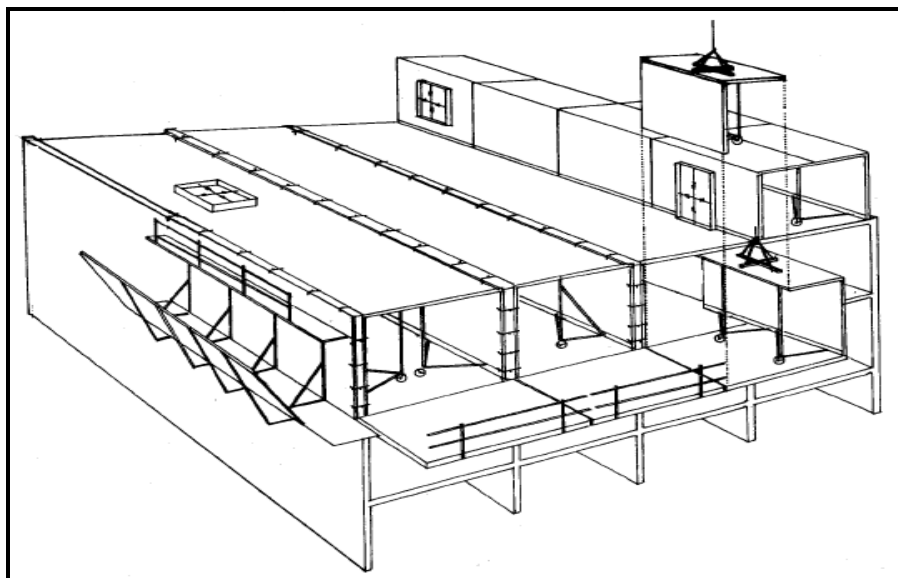


Figura 65: Sistema encofrado túnel.

Se forman por moldes en forma de U invertida. Sus espesores van de los 13 a 15 centímetros para muros y losas respectivamente.

Los elementos tridimensionales se pueden dividir en pesados y ligeros. Para este caso los módulos tridimensionales pesados son los que representan sistemas cerrados, módulos de hormigón, construido en fábrica y puesto en sitio con todos sus terminados, interiores y exteriores. La desventaja de este sistema es el peso de los

elementos así como su transporte hasta el sitio de construcción, aún así se sigue utilizando el sistema. Figura 66.



Figura 66: Módulo de hormigón.

Los sistemas abiertos o dinámicos se entienden como la integración disciplinada de subsistemas independientes, provenientes de un mismo sitio o de distintos sitios de fabricación; de tal forma que el sistema abierto permite adiciones y cambios continuos en su estructura, adaptándose a nuevas circunstancias.

La siguiente Figura 67, muestra el aspecto característico de estos sistemas la separación de sus componentes o elementos. Todos cumplen con ciclos de vida funcional y por tanto son accesibles para su modificación, reparación o adición de nuevas características. Permite futuras modificaciones internas como externas por lo que este sistema promueve la reutilización y el reciclaje.

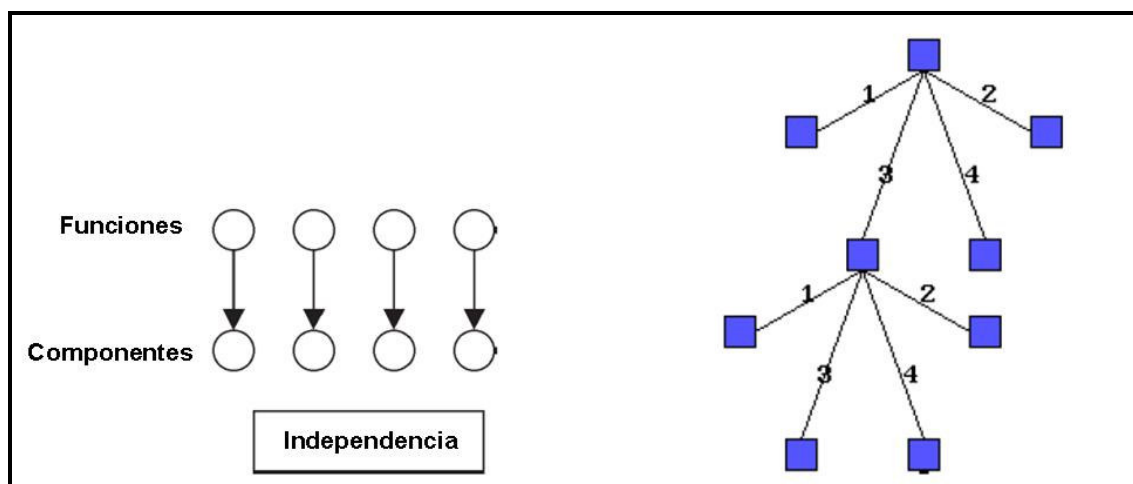


Figura 67: Sistemas abiertos.

Por lo tanto, la evolución de este sistema se debe a la sistematización de sus elementos y subsistemas independientes de construcción, montados de manera jerárquica para su acceso, mantenimiento y reparación de sus piezas. Los

subsistemas son independientes uno de otro, pero conectados a través de conexiones que permiten actualización de forma independiente.

En este sentido, los sistemas abiertos no son una entidad material o fija, sino un elemento abierto que se compone de varios elementos, que tienen relación entre ellos y cumplen una función pero que no dependen entre si.

Ambos casos, abiertos o cerrados, comparten aspectos en común, por ejemplo:

- Se colocan en apoyos puntuales o longitudinales, como zapatas aisladas o corridas y en algunos casos, es suficiente con un terreno nivelado.
- Utilizan aislamiento térmico acústico y antihumedad son necesarios.
- Las instalaciones, por motivos funcionales y económicos, son cortos, y concentrados en módulos y en zonas específicas para acceder con facilidad. Los ductos, conductos, muebles sanitarios, de cocina, vidrios, espejos, etc. se incorporan desde fábrica, dejando solo el mínimo de labores en sitio.
- Permiten adaptar e incorporar módulos independientes para escaleras o ascensores, si se prevé desde el diseño inicial.

Además, los sistemas prefabricados tienen como objetivo alcanzar mejoras ambientales, y con esta idea, se aproximan a cerrar el ciclo de vida, como elementos y materiales. Como tal se pueden observar algunas mejoras:

- Extracción y fabricación de materiales: Utilizan materiales naturales, reciclados, reciclables; consumen menos energía, son durables.
- Transporte: Los elementos son modulados de acuerdo a normas estandarizadas ISO; con esto evita utilizar equipos especiales.
- Construcción: La construcción industrializada genera menos residuos que la construcción en sitio; utilizan materiales de forma controlada evitan así el exceso.
- Mantenimiento: Con la utilización de materiales durables, el periodo de mantenimiento es menor.
- Deconstrucción: Además de la disminución del consumo de materiales, reciclables, la utilización de conexiones no fijas favorecen a la deconstrucción de los edificios, permitiendo regresar a fábrica para su reparación, mejora o reciclaje.

A pesar de que el diseño de edificios flexibles se ha practicado en el pasado, esta actividad no se ha tomado como idea principal.

Además, la construcción prefabricada no implica uniformidad o rigidez, y como construcción industrializada no solo ofrece las ventajas de uso consciente de los materiales de construcción, sino que también es diversidad y adaptabilidad a las nuevas demandas.

Si uno entiende el verdadero potencial de la construcción industrializada o prefabricada, se puede cerrar la brecha entre la prosperidad humana y eficiencia ambiental, que es la esencia del futuro sostenible.



### 3.3.1 RESPUESTA A LA DEMANDA MERCANTIL

Como se ha dicho, la prefabricación en la construcción se hizo posible debido a las nuevas tecnologías y la utilización de nuevos materiales. Las ventajas de la prefabricación, son principalmente el cambio de actividades de obra en sitio de construcción a las fábricas, así mismo mejoraron la seguridad de los trabajadores, la rentabilidad, gestión de residuos, la flexibilidad y manipulación de los materiales.

Las nuevas construcciones, la tecnología y los materiales adecuados para la prefabricación, han demandado la aplicación de reglas en la industria de la construcción. Estos principios se pueden definir como las normas que aumentan la productividad del proceso y mejora la calidad de los productos manufacturados en el menor tiempo de fabricación así como sus costes. La siguiente Tabla 5, muestra algunos resultados de la aplicación de esos principios a la prefabricación.

Tabla 5: Principios aplicados a la prefabricación.

<b>Dominio</b>	<b>Contribución</b>
<b>Cliente</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Mejor tiempo, calidad y control.</li><li>- Menor costo y mejor construcción.</li></ul>
<b>Organización del sitio de trabajo y estandarización</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Lugar de trabajo ordenado.</li><li>- Corrección de errores en fábrica.</li><li>- Control del trabajo.</li><li>- Proceso definido de trabajo.</li><li>- Logística, movimientos de material y plan de almacén, configurado al lugar de trabajo.</li></ul>
<b>Eliminación de desechos: procesos de optimización.</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Mínimo movimiento de equipo y trabajadores.</li><li>- Flujos de equipo sincronizado y equilibrado.</li><li>- Utilización establecida de material.</li><li>- Se reducen los cambios constantes en construcción.</li><li>- Reducción de desperdicios.</li></ul>
<b>Eliminación de desechos: producción establecida.</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Se utiliza plan de producción e instrucciones detalladas y tiempo previsto de tareas.</li><li>- Pequeños lotes de trabajo.</li></ul>
<b>Eliminación de desechos: optimización de producción.</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Estandarización de elementos.</li><li>- Preensamble y prefabricados.</li><li>- Análisis previo de la estructura y su construcción.</li></ul>
<b>Mejora continua y construcción de calidad.</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Análisis de causa raíz, preparación y aprendizaje organizacional.</li><li>- Desarrollo de indicadores para medir el desempeño.</li><li>- Estándares de respuesta a defectos.</li><li>- Trabajadores con sentido de responsabilidad para la construcción de calidad.</li></ul>
<b>Personas y cultura</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Entrenamiento en cada nivel.</li><li>- Incentivos a los empleados.</li><li>- Compromiso con la gestión.</li><li>- Regularización de los procesos.</li></ul>

Desde el punto de vista de la sostenibilidad, la prefabricación presenta muchas ventajas en el ámbito social, ambiental y económico. Debido a que la prefabricación requiere una especialización de actividades y una ubicación fuera del sitio, la seguridad y la salud de los trabajadores están mejor controlados.

Un mejor control y gestión del lugar de trabajo también provee mejores condiciones generales de trabajo. Otro aspecto social es que asegura y mejora el empleo mediante el fomento de la inversión local y la formación.

Mediante el aumento de la velocidad de construcción de un edificio y la inclusión de un entorno de fabricación, la prefabricación tiene beneficios ambientales y económicos. El tiempo necesario para llevar a cabo el proceso de montaje en el lugar se reduce con el uso de elementos prefabricados, que vienen preensambladas. Además, el tiempo se reduce porque se requiere menos equipo en el sitio. Por lo tanto, el número de interferencias entre los equipos, lo que provoca retrasos, se reduce.

Esta reducción del tiempo representa un ahorro económico. Este ahorro también se debe al hecho de que la gestión de reciclaje se suele llevar a cabo dentro de la fábrica evitando con ello el coste adicional de los subcontratistas, y también en la reducción de desperdicio de material.

Mediante el control de la calidad en la fábrica, la etapa de trabajos sobre el terreno requiere menor atención y tiempo. Además de presentar ventajas económicas, el resultado de estas medidas en ahorro de tiempo que acortan el período de intervención del sitio, también se mejoran los factores medioambientales como reducción de contaminación del aire, ruido y la contaminación visual.

Un ejemplo de este beneficio es la fase de diseño. El proceso de fabricación esta mejor controlado y está optimizado para producir componentes de peso ligero, los elementos asociadas con una estructura prefabricada son más pequeños que las de los edificios tradicionales, que se traduce en ahorro de tiempo y dinero, así como de impacto negativo en el área circundante.

Por último, la prefabricación se basa en una estandarización de los elementos, ofrece una amplia gama de productos que se pueden utilizar en una amplia variedad de proyectos y en consecuencia aumenta su campo de acción.

La resistencia a la prefabricación se debe principalmente al supuesto de que conduce a una falta de variedad, debido a la estandarización. Este argumento se contrarresta por el hecho de permitir tamaños posibles para una amplia gama de combinaciones. Además, se puede superar este aspecto con las diferentes texturas y acabados arquitectónicos. Otra desventaja a destacar es el impacto ambiental de la prefabricación debido al transporte requerido. Pero mediante la limitación de los viajes y eligiendo los fabricantes locales, este problema puede ser mitigado.

En la Tabla 6, se enuncian los comparativos entre aspectos económicos, ambientales y sociales de la prefabricación en comparación con el sitio de construcción.

Tabla 6: Comparativo de los aspectos económicos, ambientales y sociales de la prefabricación versus construcción en sitio.

Factores	Prefabricados	Construcción en sitio
<b>Económicos</b>		
<b>Calidad</b>	Mejor calidad en menor tiempo.	Menor calidad, dependiendo de las condiciones y complejidad de la construcción.
<b>Suministro de componentes y materiales</b>	Se establecen las cadenas de suministro.	Los suministros se restringen al tipo de proyecto y dependen de las compras.
<b>Tiempos de entrega y fiabilidad</b>	Menor tiempo de entrega, colocación en sitio y una durabilidad confiable.	Mayor tiempo de entrega y construcción, su durabilidad esta a prueba.
<b>Flexibilidad</b>	Los cambios mayores en sitio son complicados.	Ajustes limitados pueden realizarse en el sitio.
<b>Impacto en el cambio de orden</b>	Causan retrasos en su entrega y costes extra; es menos controlable en proyectos de gran escala.	Causan retrasos en la entrega y costes extra, pero pueden resolverse de mejor manera.
<b>Transporte y entrega</b>	Varía dependiendo de la ubicación de la planta de prefabricado, y del proveedor de materiales.	Son necesarias las tarifas de envío para la entrega de materias primas.
<b>Coste de mantenimiento</b>	Mejor calidad reduce costes de operación y mantenimiento.	Los defectos de las condiciones de sitio aumentan los costes de operación mantenimiento.
<b>Coordinación de tiempos</b>	Mas coordinación entre el sitio de entrega y de fabricación.	Mayor tiempo de coordinación para ajustarse a las condiciones.
<b>Ambientales</b>		
<b>Calidad</b>	Mayor calidad reduce su impacto.	Los defectos del sitio aumentan su impacto.
<b>Materiales</b>	Gran variedad de materiales especializados pueden ser utilizados.	La elección de materiales son limitados por su disponibilidad y capacidad de manipularse en el sitio.
<b>Desechos materiales</b>	Menor desperdicio de materiales por cantidades establecidas.	Mayor desperdicio de materiales, cantidades cambiantes.
<b>Transporte</b>	Menor energía consumida, menor cantidad de entregas.	Mayor energía consumida.
<b>Flexibilidad</b>	Los sistemas modulares pueden ser reconfigurados fácilmente.	Menores cambios en la construcción se resuelven fácilmente.
<b>Deconstrucción</b>	Desensamblaje sencillo para su reutilización o reciclaje.	El desensamblaje y separación de elementos es costoso.
<b>Sociales</b>		
<b>Empleo</b>	Menor cantidad de trabajadores.	Mayor cantidad de empleos para la construcción.
<b>Condiciones de trabajo</b>	Mejores condiciones de trabajo y empleo establecido.	Condiciones variables de trabajo y empleo esporádico.
<b>Calidad del trabajo</b>	Habilidades técnicas y artesanales.	Habilidad artesanal y elevada para resolver problemas en el sitio.

En la tabla anterior, se observa que el sector de la construcción es la menos eficiente. La construcción tradicional causa consecuencias negativas en todos los aspectos, sociales, económicos y sobre todo ambientales. Por lo tanto una posible solución es la prefabricación. La industrialización del sector constructivo implica optimizar todos esos recursos.

Se observan que las ventajas de la prefabricación sobre todo en la calidad de acabados y utilización de materiales. También se reduce significativamente el número de veces que se transportan los elementos al sitio de construcción, por lo tanto la energía consumida es menor.

Al pasar de construcción tradicional a industrial, los espacios se ven mejorados, menor contaminación visual, menor emisión de gases invernadero o ruido.

La calidad del trabajo es mejor ya que representa beneficios tanto para la empresa como para los trabajadores.

En general se puede afirmar que la construcción industrializada representa menor impacto ambiental.

Por otra parte la negativa de la construcción industrializada se debe a la poca gama de formas y acabados que pueden tener los módulos o paneles prefabricados. La tecnología, la utilización de maquinaria y materiales especializados no pueden igualar las exigencias y preconceptos de los usuarios.

### 3.3.2 SOLUCIONES PARA LAS ESTRUCTURAS PREFABRICADAS

Tomando en cuenta lo visto, los dos mejores productos prefabricados para cumplir con los objetivos del diseño sostenible son: Los sistemas de paneles y los módulos prefabricados.

Los requerimientos de diseño para este tipo de estructuras, son para estimular el manejo consciente de recursos naturales y cambiar el modelo de construcción de los nuevos edificios, por lo que se deberán tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Accesibilidad.
- Variación.
- Reutilización.
- Reemplazo.
- Reconfiguración.
- Reciclaje.

Con estos requerimientos se obtienen los criterios de diseño que son la independencia e intercambio de elementos entre el mismo edificio o entre otros; y La combinación de los requerimientos y criterios de diseño definirán el diseño de los edificios flexibles: deconstrucción funcional, técnica y física. Figura 68.

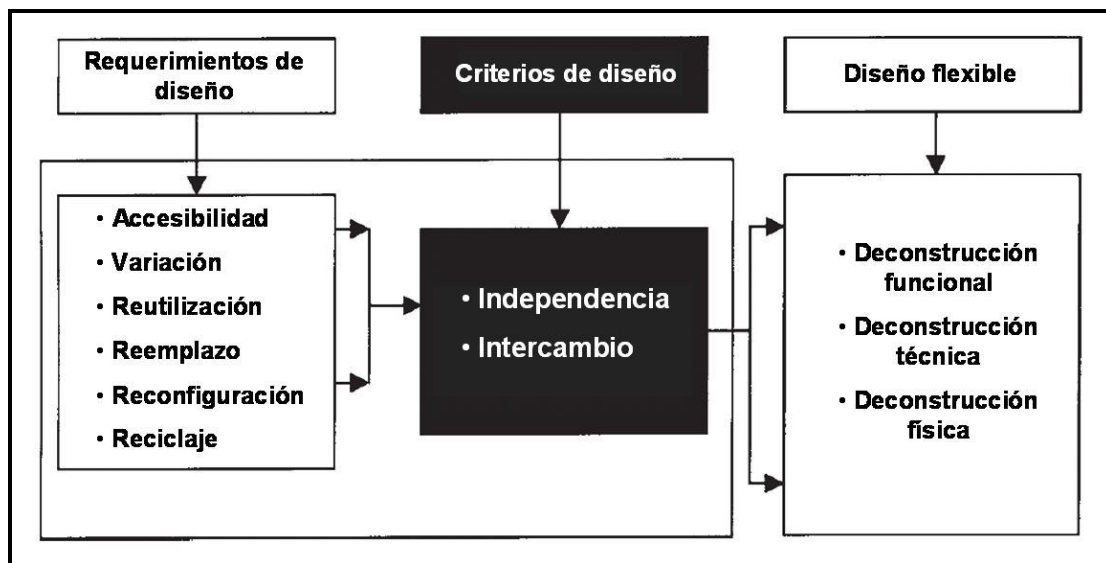


Figura 68: Requerimientos y criterios de diseño en los edificio flexibles.

En la figura anterior, los requerimientos de diseño definen los criterios de diseño y ambos definen el diseño flexible a través del la deconstrucción funcional, técnica y física.

También el diseño flexible se puede lograr por su tipo de elementos, separación, sistematización, materiales; la influencia respecto a otros elementos y su conexión entre ellos. Figura 69.

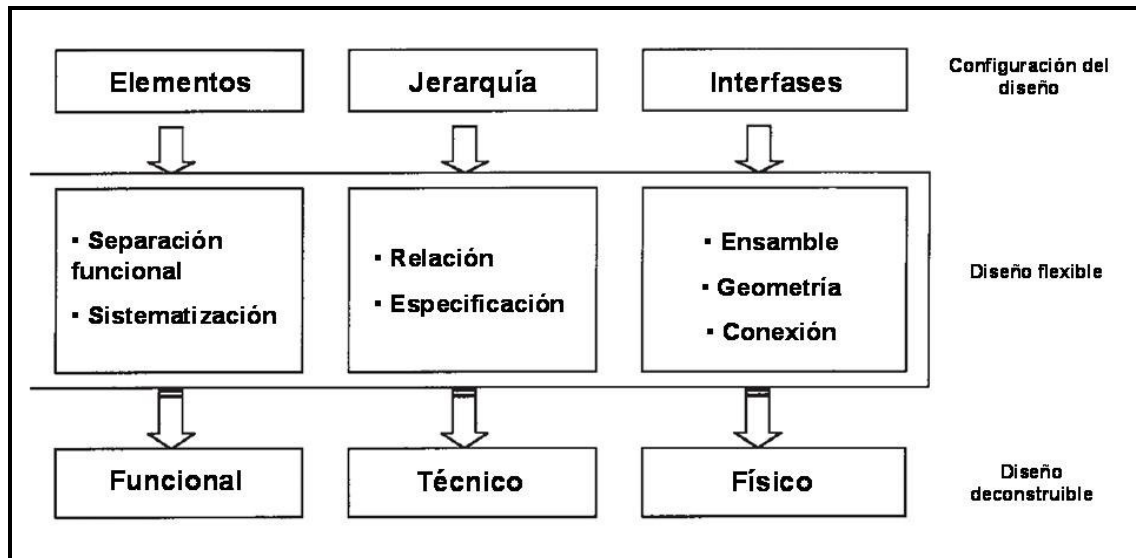


Figura 69: Aspectos de los edificios deconstruibles.

Con lo anterior se puede afirmar que una estructura puede transformarse si todos sus elementos se diseñan como partes independientes, y si su interfase está diseñada para intercambiarse.

El estudio de diferentes alternativas constructivas antes de edificar, reducirá significativamente el impacto ambiental. Así mismo se pueden cerrar los ciclos de vida de los materiales y elementos.

Para cerrar dichos ciclos de vida, el análisis previo a la construcción debe incluir las siguientes características:

- Los sistemas modulares deben construirse con materiales reciclados y reciclables.
- Los sistemas modulares deberán permitir la fabricación como el desmontaje para enviarse a fábrica y recuperarse.
- Con la utilización establecida de materiales, la construcción industrial permitirá lograr un cero de residuos.
- La utilización de materiales reciclables, materiales naturales y la combinación de estos, permite reducir el impacto significativo al ambiente.
- Utilizar energía renovable para cerrar el ciclo de los materiales y así reducir las emisiones CO<sup>2</sup> incorporados.
- El transporte eficiente reducirá el flujo de cargas, trabajando con materias primas y fábricas locales.

Finalmente, el impacto ambiental de la edificación es consecuencia de los modelos productivos lineales, extracción de recursos y generación de residuos, que debe cambiarse a un ciclo de vida cerrado o cíclico. De esta manera, la construcción industrial, la utilización de materiales naturales y reciclables, pueden cerrar dicho ciclo, llegando a recuperar hasta un 95% de una vivienda.



## 4 ANÁLISIS DE CASOS DE ESTUDIO

En este capítulo se presentan tres casos de estudio que hacen referencia a los conceptos de adaptabilidad y deconstrucción. El primer caso se refiere a los refugios de emergencia, que ilustra de manera concreta y simple los conceptos mencionados. Los otros dos ejemplos, además de mencionar dichos conceptos, hacen referencia a la industrialización de la vivienda como prefabricación de elementos, módulos tridimensionales y panelizados.

Ubicándonos en el contexto de que los refugios son de uso frecuente después de los desastres naturales, para proteger a las personas, estos se utilizan para ser estructuras adaptables y al mismo tiempo ser resistentes a la intemperie. El criterio de la capacidad de adaptación es el concepto principal, es decir, los equipos de rescate tienen que ser capaces de proporcionar rápidamente una amplia gama de soluciones para la gente, por lo tanto, el diseño de estos refugios son simples y flexibles.

El refugio se capta como una sola estructura, por lo tanto tiene también necesidades de ventilación para que el interior sea confortable y de igual forma proteja contra la radiación solar y el entorno.

Para adaptarse a la variedad de tamaños, el diseño tiene que ser capaz de expandirse. El concepto de expansión se concibe a través de la generación de fractales, es decir, se utilizan formas rectangulares elementales para ir las integrando. Esta forma geométrica se encuentra en dos escalas diferentes, que se hace presente desde lo elemental hasta lo global. Una vez definida la forma rectangular y sus dimensiones, el concepto de módulo modulado y ensamblable es aplicable.

En la siguiente figura se muestran ejemplos de diferentes esquemas que se pueden adoptar a partir de un elemento simple. Dicho elemento con forma rectangular puede adoptar a la forma original, así mismo puede descomponerse en pequeños elementos con la misma forma para adaptarse a nuevas y distintas necesidades hasta formar una sola estructura flexible. Figura 70.

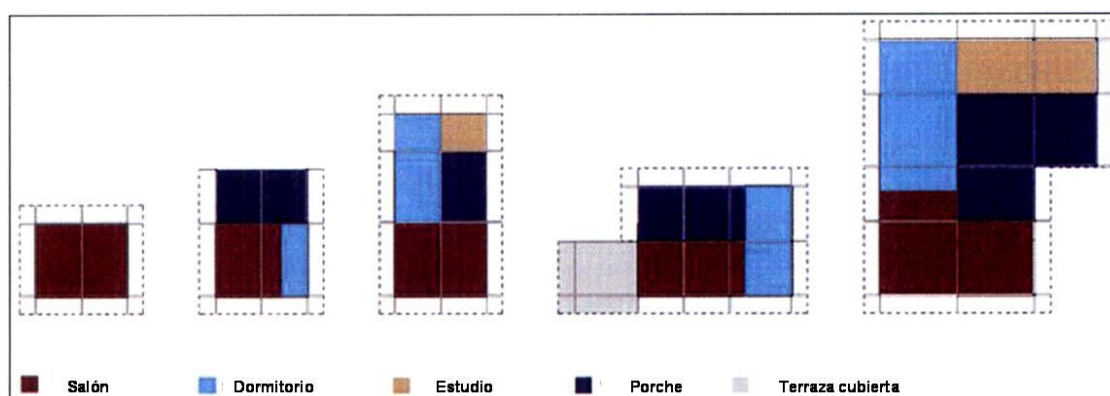


Figura 70: Adaptación de un refugio.

Como se muestra en la figura anterior, los dos tamaños posibles de forma rectangular, tienen una relación de 1 a 2, es decir, descomponer un elemento en dos partes iguales hasta conseguir la mínima reducción; con ello conducen a la creación de cinco formas que puede albergar desde dos personas, para el primer esquema, hasta 7 o más personas para el más grande.

La capacidad de adaptación también se aplica a la ventilación, por lo que la estructura principal es flexible y por tanto también se adapta.

El concepto de refugios de emergencia permite la transición de construcciones efímeras a construcciones fijas, por decirlo de alguna forma. La solución de diseño es dividir a toda la estructura en capas, sitio, estructura, particiones, instalaciones, etc. En ese sentido, cada capa del edificio cumple con una función específica. Por ejemplo, la capa exterior permite la ventilación por ser un elemento elevado, mientras que la capa de la estructura sirve a sí mismo y permite contener la capa de protección exterior. Esta separación también facilita la sustitución de dicha capa, cuya vida útil puede ser menor debido a su exposición externa.

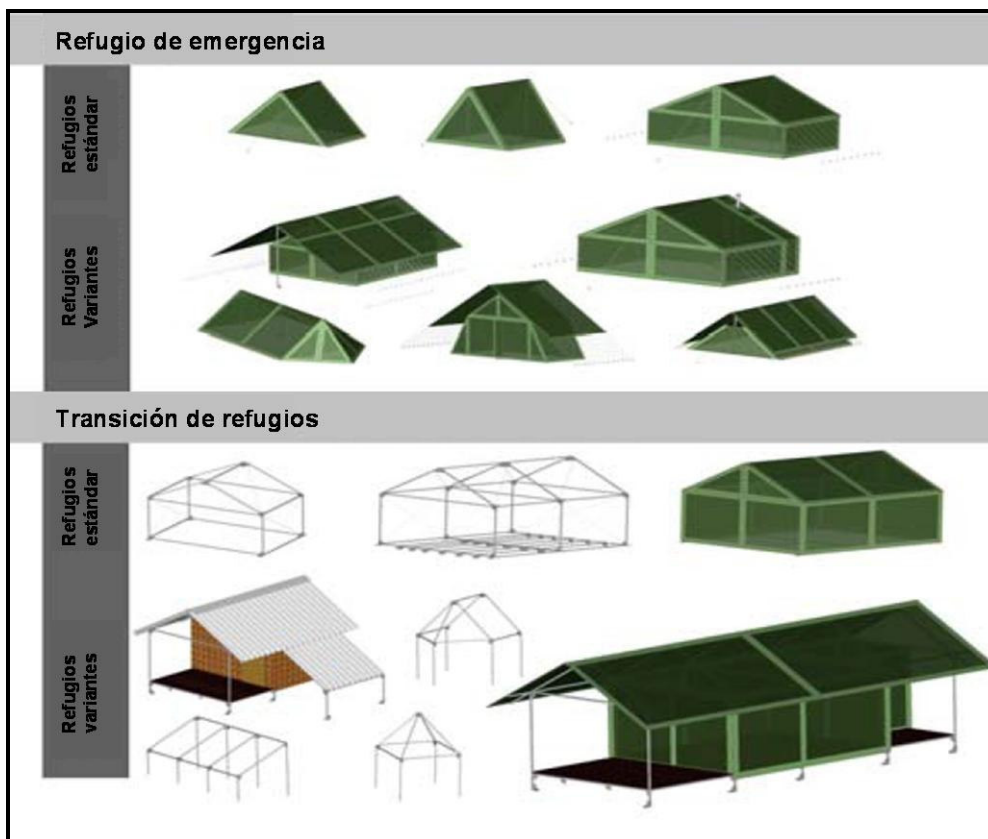


Figura 71: Refugio efímero y constructivo.

La Figura 71, muestra los dos conceptos de diseño sostenible: la primera fase consiste en identificar las necesidades de adaptación y determinar las funciones que responderán a estas necesidades; la segunda fase consiste en la aplicación de los conceptos, sobreposición de capas y modelo modular para lograr una estructura flexible.

El segundo caso de estudio muestra la casa R128, diseñada y construida por el ingeniero y arquitecto alemán Werner Sobek.

Es un edificio de cuatro plantas cuya altura total es de 11,2 metros, construida con estructura de acero y paneles de vidrio. Este concepto permitió que la casa fuese totalmente deconstruible; también, se seleccionaron materiales con base a criterios de reutilización o reciclado. Así mismo procuro la prefabricación de todos los elementos, estandarización, teoría de las capas y modulación, ya que la idea principal fue que la estructura fuese siempre parte del diseño. Figura 72.



Figura 72: Casa R-128. Werner Sobek.

El objetivo principal era construir una estructura ligera, al mismo tiempo, que garantice el máximo confort, apertura, continuidad del interior al exterior, transparencia, iluminación natural, flexibilidad y adaptabilidad con respecto a la división interna y cambios en el tiempo.

La elección de la forma cúbica en el diseño del edificio, respondía a la optimización de la superficie, desempeñaba un papel importante para la deconstrucción y la maximización del ahorro energético. Por lo tanto, esta forma geométrica favorecía a la estandarización de elementos y a la prefabricación. Figura 73.

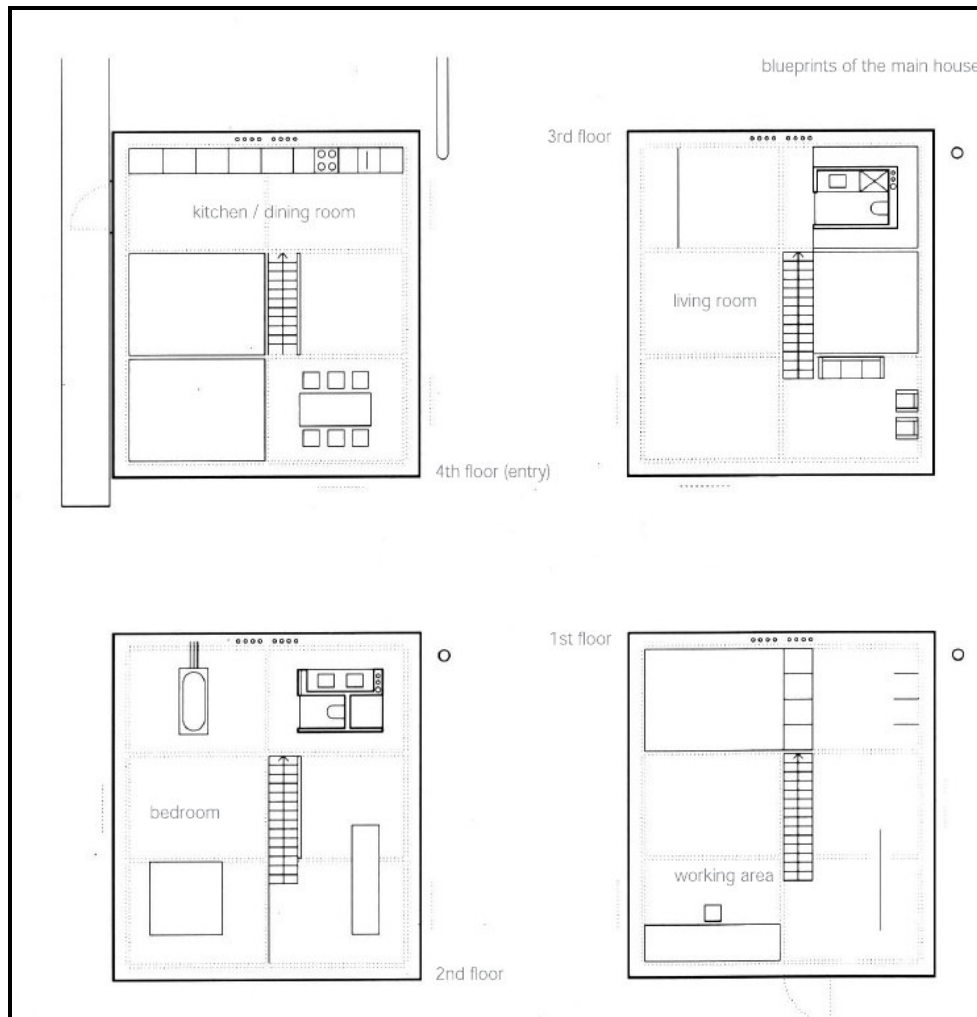


Figura 73: Plantas arquitectónicas de la casa R-128.

Como se muestra en la figura anterior, la organización, mostrada en las plantas, se basa en una presentación regular. La circulación vertical (escaleras) se mantiene en el centro de la planta a lo largo de los pisos, y los servicios están en la parte superior, permitiendo con ello el acceso a las instalaciones.

Agrupar la zona de servicios les permite el acceso inmediato a las instalaciones, agua, electricidad, etc. por lo tanto su diseño se simplifica. De hecho, la ubicación de los cuartos de baño o la cocina es estratégica para maximizar la capacidad de adaptación.

Para responder a los criterios de elemento ligero y transparencia la estructura de acero atornillada permite recibir y soportar la envolvente de cristal. Figura 74.



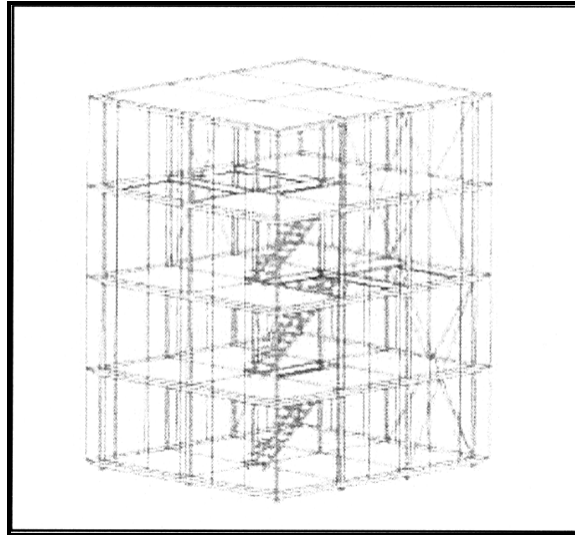


Figura 74: Estructura de la casa R-128.

Las ventajas de esta estructura es que en primer lugar, se minimiza el peso, en segundo, responde al principio de diseño de espacios abiertos que se adapta a cualquier sitio, y en tercer lugar, permite alcanzar una precisión, que es comparable a la ingeniería mecánica, que se adecua a la prefabricación de sus elementos y la precisión de los requerimientos en sus instalaciones (gas, luz, agua, servicios).

Las tuberías y los cables se agrupan en la misma zona, dentro de ductos de aluminio plegado que van por el interior de las fachadas. Figura 75.



Figura 75: Ductos de instalación, de la casa R-128.

La estructura pesa 39.800 kg, formada por cuatro pisos de 2.80 m., cada planta puede ser dividida en siete unidades rectangulares: seis de 3,85 x 2,90 m, y otra que se

utiliza para la escalera de los cuatro niveles. El sistema de carga vertical se compone de doce columnas de 3 x 4, colocados en las esquinas. La estructura horizontal consiste en traveses que unen las columnas en ambas direcciones y la cimentación es una losa de hormigón armado realizada en sitio.

El uso de conexiones atornilladas expuestas, aumenta la velocidad del armado, facilita las posibles y futuras modificaciones así como su desmontaje, además de evitar la utilización de elementos rígidos. Figura 76.

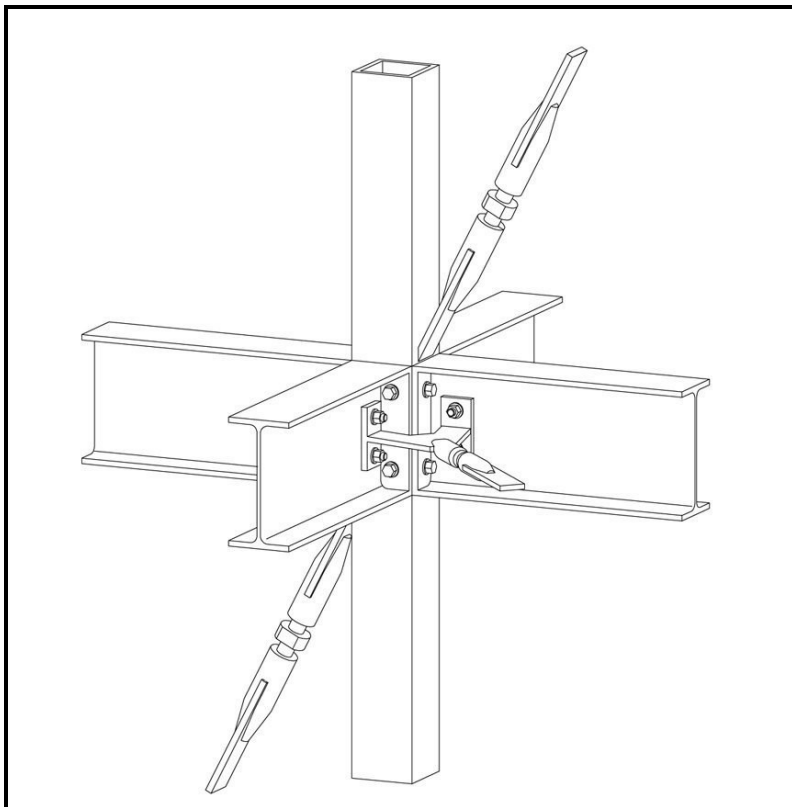


Figura 76: Esquema de conexión, casa R-128.

En este caso el armado de la estructura fue rápido. Una vez se terminó la cimentación, se erigió una cubierta para proteger el área de construcción de la intemperie. Sólo cuatro días fueron necesarios para atornillar las columnas y las vigas de la estructura, y esta erección rápida se debió a la prefabricación de todos los elementos. De hecho, los agujeros se perforaron desde el taller. Este trabajo ha incrementa la fabricación precisa ya que no hay necesidad de adoptar medidas de compensación o tolerancia.

Las partes no estructurales también son parte del diseño. Los pisos están hechos de madera de 60 mm. de espesor cubiertas de plástico que son simplemente apoyadas a las vigas de acero sin ningún perno o tornillo. Así mismo, el falso plafón de cada nivel está compuesto por paneles de aluminio recortado que contienen los sistemas de iluminación son absorbente acústico y cubren los sistemas de calefacción y aire acondicionado.

Esta descomposición muestra claramente que la estructura se separa de otras funciones y en consecuencia, los cambios futuros podrán llevarse a cabo sin dañar elementos de apoyo u otros.



Otro ejemplo es la Casa Kyoto, ubicada en Lleida, España, Figura 77, que además de ser bioclimática, construida con elementos prefabricados y panelizados de hormigón.



Figura 77: Casa Kyoto en Lleida, España.

En ella se ha fijado la capacidad productiva de la industria constructiva, es decir, prefabricar todos los elementos del edificio, así mismo reducir la utilización de recursos materiales, emisiones de CO<sub>2</sub>, de costes y promover la adaptabilidad del edificio a las futuras demandas. Como se observa, la forma geométrica rectangular aplica los criterios de estandarización de elementos, así mismo, el espacio puede descomponerse en mínimos para esas nuevas adaptaciones. El objetivo de la vivienda era construir un edificio basado en criterios de edificación sostenible. Se distribuye en tres plantas, sótano más dos, que suman 250 m<sup>2</sup>. Figura 78.



Figura 78: Plantas arquitectónicas, casa Kyoto.

Como edificación prefabricada requirió un plazo de entrega de 4 meses desde su fabricación.

Su estructura esta compuesta de pórticos de pilares y jácenas de hormigón en los que se apoyan las losas de forjado. En la misma estructura se apoyan los paneles de la envolvente. En general esta construcción es isostática, es decir, se apoyan en bandas de neopreno o solo atornilladas. Figura 79.



Figura 79: Elemento atornillados.

Como edificio prefabricado, puede personalizarse en espacio, materiales reciclables e incorporar sistemas más o menos complejos para consumo de la vivienda. Por lo tanto, este edificio es otra posible solución constructiva industrializada que posibilita la flexibilidad y adaptabilidad de la estructura para la posible evolución de la vivienda para nuevas demandas.

Para el caso 3, se analiza la utilización de elementos tridimensionales prefabricados. Si bien los contenedores de transporte no tienen los elementos para ser habitables en principio, estos están contruidos con normas ISO por lo tanto son aptos para fines edificatorios. La idea de utilizar estos elementos tridimensionales no es nueva ya que se han utilizado como alojamiento temporal, de almacenaje u oficinas.

Su construcción ha sido con base a normas estrictas y en general se fabrican con acero corten, pero también los hay en aluminio, madera contrachapada reforzados con fibra de vidrio; el suelo es de madera, en los postes esquineros se refuerzan por el exterior con bases que permiten a su vez conectarse al transporte, así como sus cargas mediante un seguro giratorio (twistlock), Figura 80, por lo tanto, su composición como elemento tridimensional y estructural soporta condiciones climáticas y técnicas extremas; hielo, frío, calor, cargas muertas, vivas, diferenciales o de torsión. Figura 81.

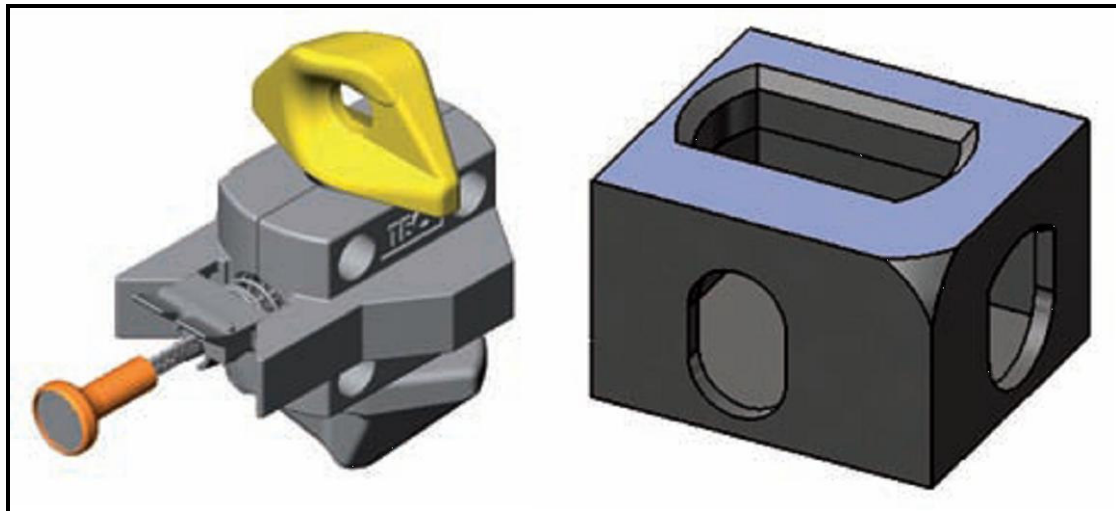


Figura 80. Twistlock y base esquinero.

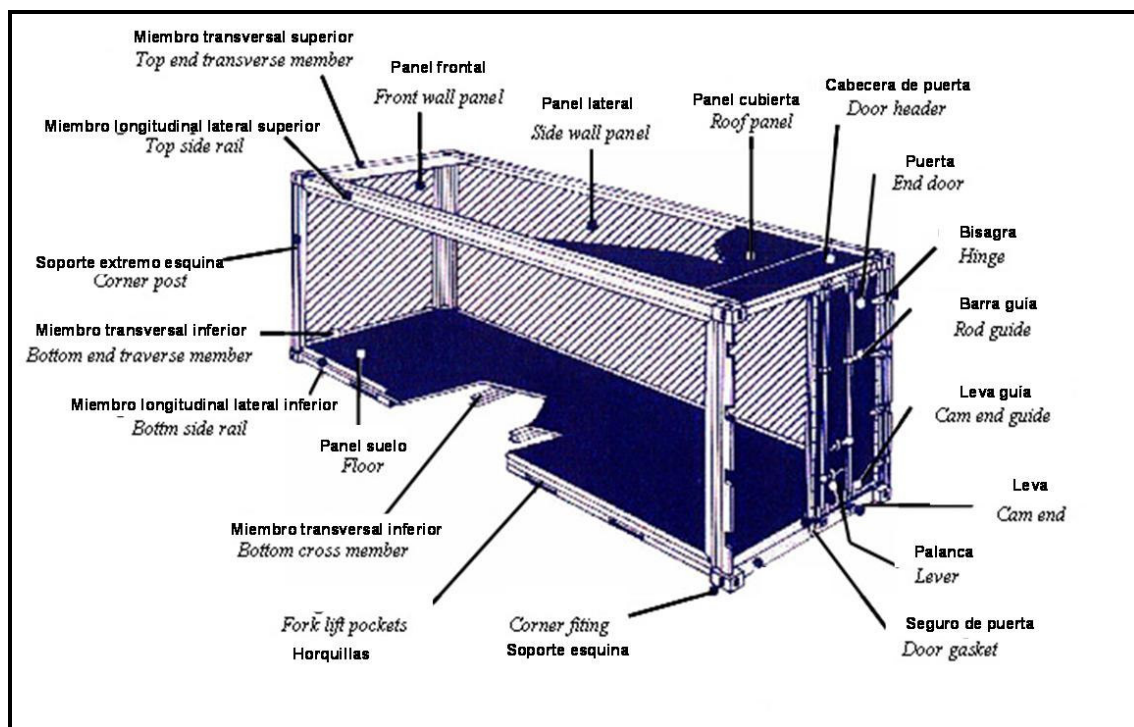


Figura 81: Elementos del contenedor de transporte.

Existen distintos tipos de contenedores, los dos primeros lo definen los contenedores con normas ISO o estandarizadas; los siguientes definen los contenedores adaptados a las distintas demandas:

- **Dry Van:** Contenedor estándar, cerrado herméticamente sin refrigeración o ventilación. Sus medidas son: 6.096 x 2.438 x 2.438 metros. Figura 82.



Figura 82: Contenedor Dry Van.

- **High Cube:** Contenedor estándar, cerrado herméticamente sin refrigeración o ventilación. Sus medidas son: 12.192 x 2.438 x 2.438 metros. Figura 83.



Figura 83: Contenedor High Cube.

- **Reefers:** Son contenedores con equipo propio de refrigeración, calefacción o aislantes. Tienen las mismas características que los anteriores. Figura 84.



Figura 84: Contenedor Reefer.

- **Open Top:** Mismas características que los estandarizados, pero con diferencia en que no tiene panel de cubierta rígida, por lo tanto puede llevar sobre carga en volumen. Figura 85.



Figura 85: Contenedor Open Top.

- **Flat Rack:** Tiene la configuración con una base y dos paredes, lo que permite la carga y descarga de ambos lados y por la parte superior. Figura 86.

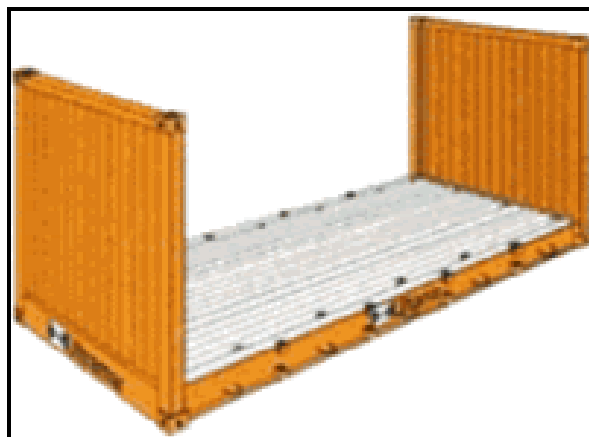


Figura 86: Contenedor Flat Rack.



- **Dry Bulk:** También llamados graneleros, tiene tomas superiores por donde se realiza la carga, la descarga se hace por precipitación. Figura 87.

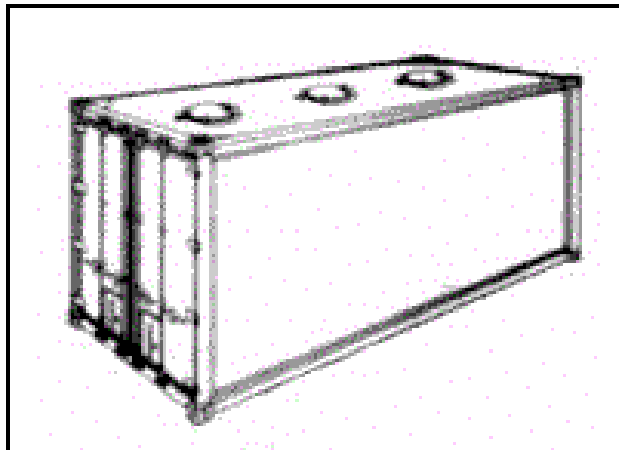


Figura 87: Contenedor Dry Bulk.

- **Tank:** contenedor cisterna, se utiliza para transporte de líquidos como aceite, productos químicos, etc. Se trata de un tanque contenido dentro de vigas de acero con las medidas del contenedor estándar, por lo que se puede apilar uno sobre otro. Figura 88.



Figura 88: Contenedor Cisterna.

El incremento de importación y exportación de distintos países por medios marítimos y terrestres, incrementa de manera constante la demanda de contenedores de mercancías. Así mismo, el envío de contenedores de un país a otro resulta costoso por lo que traer de vuelta ese mismo contenedor es inviable para las empresas, por lo tanto, el ciclo de vida de dichos contenedores muchas veces es de un solo uso.

En este sentido, el almacenaje de contenedores se hace insostenible ya que ocupan espacio y contaminan visualmente el entorno. Se estima que solo en Estado Unidos hay más de 700,000 contenedores abandonados en los puertos. Figura 89.





Figura 89: Almacén de contenedores.

Con esta idea lo que se busca al utilizar los contenedores de transporte es el reciclaje de los mismos con fines edificatorios. Dichos elementos tridimensionales se pueden reciclar triturándolos y recuperando el acero utilizado, de otra manera reutilizar el elemento como tal para la construcción de edificios.

Para este análisis se propone la reutilización, que es cada vez más frecuente en la construcción de vivienda, oficinas, escuelas, hospitales, etc. Como elemento versátil ofrece una multitud de soluciones a las demandas, por lo que cumple nuevamente con los conceptos de adaptabilidad y flexibilidad del elemento.

Así mismo ofrece muchas ventajas respecto a la construcción rígida, es decir, promueve el reciclaje de elementos, reduce la afectación al medio ambiente, es un elemento modulado por lo que puede adquirir distintas facetas, es resistente y durable si se le da el mantenimiento periódico, es rápido en su construcción por lo que representa un ahorro en costes, se transporta con facilidad y hay en diferentes tamaños.

También como elemento reutilizado tiene sus desventajas por ejemplo: los contenedores al ser elementos de acero son buenos conductores de calor, por lo que si no se trata de manera correcta su habitabilidad resulta imposible, su construcción requiere de técnicos especialistas en el tema ya que de no realizarse correctamente la construcción corre el riesgo de accidentes, necesitan de maquinaria como grúas para el izamiento de los elementos y la obtención de permisos por los ayuntamientos puede ser complicado, ya que algunos de estos nunca han construido con esta tipología de edificio.

Un ejemplo de reutilización de contenedores puede observarse en la propuesta R4 House (Casa R4) del arquitecto Luis de Garrido. Se trata de una de las primeras viviendas bioclimáticas con elementos tridimensionales reciclados. Como tal, esta vivienda no necesita una estructura ya que los mismos elementos cumplen con dicha función.

Esta construida con 6 contenedores que proporcionan flexibilidad y adaptabilidad, se construye rápido y con un coste bajo. De igual forma, el interior está resuelto con elementos reciclables, aislados térmica y acústicamente y sin dejar atrás el concepto de la estética. Figura 90.



Figura 90: R4 House, Luís de Garrido.

El concepto de esta casa se basa en los objetivos del desarrollo sostenible, es decir, aplicar las R's:

La primera es reciclar; como tal esta vivienda contiene elementos reciclados y al mismo tiempo reciclables y como tal dichos materiales y elementos tienen un ciclo de vida repetitivo.

La segunda es recuperar elementos y materiales a utilizarse en la casa, es decir, todos los materiales de la casa han sido desechados como residuo industrial o urbano. En este sentido se aplica el concepto de upcycle, es decir, mediante el proceso industrial se transforman los materiales recuperados para producir un material reciclado de mejor calidad.

La tercera significa reutilizar los materiales, es decir, aplica el concepto de downcycle. Esto significa que el material recuperado pasa por un proceso de mantenimiento no industrial para utilizarse directamente en el edificio, por lo tanto implica la reducción de consumo energético de construcción así como evitar residuos.

La última implica el raciocinio por parte del sector constructivo. Es decir, si el sector de la construcción consume la mayor energía del planeta, entonces esta obligado a replantear el proceso de diseño y construcción con el fin de disminuir los impactos ambientales, en otras palabras, reducir emisiones contaminantes y residuos de la construcción, disminuir el consumo energético, optimizar la utilización de materiales y recursos y disminuir el coste de construcción.

Las características más importantes de la Casa R4 son:

1. Construcción del edificio con materiales reciclados, recuperados y reutilizados.

- Reutilizados: perfiles metálicos de la escalera, vigas de cubierta inclinada, paneles de cubierta inclinada, rastreles del interior de los contenedores, rastreles del exterior (antes palés para el transporte de materiales), elementos decorativos, mobiliario a base de elementos laminares, lámpara central, adoquines de mármol, electrodomésticos, sanitarios antiguos.
  - Recuperados: Contenedores desechados, lana de oveja para aislamiento, cáñamo, perfilaría metálica, mosaico a base de residuos de Silestone, mosaico, tableros de fibra de madera, tableros aglomerados, recubrimiento de cubierta a base de residuos de vidrio, paneles decorativos a base de residuos de vidrio y canicas usadas, lavadora- frigorífico y horno (reestructurados a base de cartón), terrizo a base de residuos de vidrio.
  - Reciclados: Vidrio, polietileno y polipropileno de tubos, elementos metálicos, Silestone, mosaico, paneles de zinc, césped artificial.
2. La estructura arquitectónica y portante está compuesta por contenedores de transporte desechados. La utilización de estos elementos tridimensionales permite conseguir espacios arquitectónicos flexibles, reubicables, ampliables y de bajo precio. Por lo tanto, es una estructura flexible y adaptable a nuevas demandas, es decir, si se necesita un espacio adicional simplemente se debe adosar o apoyar un nuevo contenedor. Además las viviendas pueden crecer de acuerdo a las necesidades reales de espacio de una familia. Los componentes más jóvenes del núcleo familiar pueden mantener su independencia, y al mismo tiempo su integración, con el núcleo familiar.
  3. Estructura flexible y adaptable. Para responder a las necesidades de cambio de una determinada familia, la estructura arquitectónica propuesta es totalmente flexible, y los espacios son fácilmente renovables. Esta flexibilidad extrema se ha logrado debido a la utilización de varias estrategias y soluciones constructivas diferentes: contenedores, paneles recuperables ensamblados en seco, suelos y techos desmontables, paneles de vidrio móviles, sanitarios móviles reubicables, muebles de cocina móviles y reubicables, instalaciones de agua y electricidad flexibles. De este modo, se puede adaptar la estructura arquitectónica a cualquier cambio sin necesidad de hacer ningún tipo de obras. Los contenedores pueden desplazarse y reconfigurar nuevos espacios simplemente con moverlos. Por supuesto existe todo tipo de posibilidades de ampliación de espacios, tan sólo añadiendo nuevos contenedores.
  4. Cero residuos. Como estructura flexible y adaptable no genera residuos. En la construcción y en la posible deconstrucción de la Casa R4, prácticamente no se genera residuos. Ello se ha debido al sistema de construcción en seco descrito, al control de la construcción, al sistema flexible de panelizado, al control del material solicitado, y a la perfecta optimización de los materiales utilizados.
  5. Estética singular. Hasta la fecha existe el miedo a construir este tipo de estructuras por la estética que pudiesen tener, muchas veces estos edificios con el acabado incorrecto se pueden observar como maquetas mal terminadas. En este caso la estética es diferencial e impactante que se debe tanto a los materiales con los que está construido el prototipo (materiales reciclados, recuperados, reutilizados y ecológicos), como a sus características bioclimáticas y funcionales. La utilización de contenedores confiere igualmente a la estructura una singular e interesante visión, composición de las fachadas, mosaicos, cubierta inclinada e interiores. El objetivo de este tipo de composición arquitectónica es el de crear objetos bellos, armónicos y atractivos, pero al mismo tiempo aprovechar al máximo todo tipo de recursos, y no generar residuo alguno.

6. Utilización de materiales ecológicos. Para la construcción de esta vivienda se eligieron inicialmente un conjunto de materiales posibles, entre los que destacan: chapa de zinc, piedra, contrachapado de bambú, paneles de bambú, parquet de bambú, cartón, mosaico, contrachapado de abeto, contrachapado de abedul, paneles de polietileno, paneles de yeso-celulosa, pinturas ecológicas, Silestone, paneles de vidrio, pizarra, Trespa y terrazos continuos.
7. Vidrios reciclados con valor añadido, antiscratch, antideslizante, etc. e han utilizado una enorme variedad de vidrios decorativos y de alto valor añadido. Cabe destacar los vidrios que no se rallan, vidrios que no se ensucian, vidrios con serigrafías especiales, vidrios en los que se puede rotular y, al mismo tiempo, proyectar imágenes, etc. También hay que destacar la utilización de nuevos materiales a medio camino entre el vidrio y la cerámica: el plak'up, un material excepcional por sus características para formar muros separadores retroiluminados y una gran variedad de nuevas aplicaciones.
8. Nuevos paneles sándwich de vidrio, aislantes y transparentes. Se trata de un diseño muy original utilizado por primera vez en este prototipo. Se compone de un conjunto de 20 paneles prefabricados de vidrio doble con una cámara de 25 mm. En esta cámara se han introducido diferentes tipos de material aislante, y también residuos. En concreto: restos de vidrio triturado de colores, lana de oveja tintada, cáñamo coloreado, polietileno...e incluso canicas usadas. Estos paneles se han utilizado en tres lugares diferentes: recubrimiento de paredes interiores, paneles separadores y vidrios exteriores. El resultado sorprende tanto por su capacidad de aislamiento, como por sus enormes e interesantes posibilidades estéticas. Los vidrios se han utilizado tanto en el exterior, como en el interior de la vivienda.
9. Sanitarios recuperados. Esta vivienda reutiliza sanitarios recuperados con más de 40 años de antigüedad.
10. Reutilización de todos los elementos y componentes del edificio. Todas las piezas con las que se ha construido la Casa R4 se han ensamblado en seco mediante tornillos, clavos, abrazaderas o simplemente a presión. De este modo, una vez desmontada la vivienda (fin de su vida útil) todas las piezas pueden volverse a utilizar en la construcción de un nuevo edificio.
11. Sostenibilidad exhaustiva. Con su análisis previo a la construcción logra disminuir al máximo las emisiones contaminantes, residuos de la construcción, consumo energético; optimiza la utilización de materiales y recursos utilizados; mejora el bienestar y salud humana y disminuye el mantenimiento y coste de construcción del edificio.
12. Reducción de costes. La variación en costes dependerá de las necesidades de los ocupantes. Para dar una idea aproximada de los costes de construcción de la vivienda mínima de 30 m<sup>2</sup>, por un total de 25.000 Euros.
  - Contenedor desechado: 800 euros
  - Manipulación del contenedor (herrero): 1.200 euros
  - Mosaico en suelo sobre panel colocado en seco: 2.000 euros
  - Rastrelado de paredes y panel-yeso: 2.200 euros
  - Instalación eléctrica: 700 euros
  - Instalación de fontanería: 900 euros
  - Sanitarios: 900 euros
  - Panelizado exterior con aislamiento (82 m<sup>2</sup>): 6.500 euros
  - Cubierta ajardinada: 2.200 euros

- Pintura: 1.100 euros
- Rastrelado de techos y bambú: 2.200 euros
- Carpintería y vidrios exteriores 3.100 euros
- Vidrios interiores 1.200 euros.

13. Solución al problema social de la vivienda. La Casa R4 también pretende aportar una posible respuesta a la dificultad de acceso a una vivienda. Con un contenedor de 30 m<sup>2</sup> se ha diseñado una vivienda mínima que puede satisfacer las necesidades de una pareja, a un precio razonable. Así mismo dicha vivienda contenedor puede ubicarse en el lugar que se desee, con un gasto mínimo de anclaje al terreno y el resultado final puede considerarse como un bien mueble o inmueble, según se desee. Cuando las necesidades espaciales de la vivienda crecen, simplemente basta con añadir más módulos, por ejemplo, con dos contenedores (60 m<sup>2</sup>) se obtiene una vivienda más compleja para una familia pequeña; con tres contenedores (90 m<sup>2</sup>) se obtiene una vivienda que puede satisfacer las exigencias de una familia media en cualquier lugar del mundo y con cuatro o más contenedores se pueden tener estructuras de vivienda tan complejas como la Casa R4 y a un precio muy bajo. Lo que es mejor, si un miembro de una familia desea emanciparse, simplemente basta con añadir un nuevo módulo al conjunto, creando una unidad de convivencia básica, en la cual el miembro de la familia sigue en contacto con el núcleo familiar, manteniendo su independencia e intimidad. Por último, si el núcleo familiar decrece, simplemente basta con eliminar un módulo del conjunto. De este modo, una familia sólo compra el espacio que realmente necesita, sin necesidad de hipotecar el resto de su vida. Con estos contenedores de transporte (o módulos tridimensionales) pueden crearse estructuras más complejas y de mucho mayor tamaño, como manzanas, bloques de viviendas o edificios en altura.

Con estos ejemplos se pretende dar una posible solución a los retos que se enfrenta actualmente la construcción mediante la construcción de viviendas industrializadas con base a reducir, reutilizar y reciclar elementos.

También, estos ejemplos incluyen en sus diseños los conceptos de adaptabilidad y flexibilidad, que de una u otra forma se puede observar por el tipo de construcción, paneles, módulos o mixtos.



## 5 CONCLUSIONES

- **Conclusiones generales:**

En la actualidad, un edificio es elemento estático definido por su rigidez en sus conexiones, elementos, por lo que debe ser diseñado y considerado como parte de un entorno dinámico. En consecuencia, tiene que adaptarse a la evolución de las tendencias, como tal, permitir adiciones futuras a su estructura, así mismo, incluir su reorganización espacial, renovación, rehabilitación, y finalmente su deconstrucción.

El impacto ambiental del sector constructivo es del orden de la mitad del impacto en todo el planeta, Lo anterior se debe a la relación directa de la construcción tradicional, es decir, construcción con ciclos de vida lineal: extracción de recursos, fabricación de materiales, transporte, construcción, utilización, mantenimiento y derribo, que en términos globales es contaminación ambiental, de agua, del suelo, del aire, etc.

Para reducir gradualmente los impactos generados por la construcción moderna, pero no eliminarlos por el tipo de actividad, la construcción deberá estar ligada al cierre del ciclo de vida de los recursos, a través de la transformación de materiales, transporte, construcción, utilización, mantenimiento, deconstrucción y evitar en lo posible la extracción y vertido de residuos, esto es, aprovechamiento de la energía a través de la reutilización, la recuperación, la rehabilitación y el reciclaje.

Si nos situamos en el desarrollo sostenible, el proceso de diseño y construcción tradicional ha afectado en todos sentidos, el social, el económico y el ambiental. Mucho tiene que ver que se han construido edificaciones estáticas, es decir, que no necesitan adaptaciones futuras, mejoras, ampliaciones, etc.

El diseño sostenible incluye conceptos de adaptación, flexibilidad, estandarización, y deconstrucción, que en medida se adopta y adapta de otro sector industrial, como por ejemplo el del automotriz. Como tal, la construcción es adaptable y deconstruible a través de la aplicación de conceptos tales como: la estandarización de elementos, construcción del edificio por capas, así como también, por la utilización de módulos prefabricados.

La industrialización de la construcción ha evolucionado en el pasado, iniciando desde la construcción vernácula, pasando por los sistemas actuales o rígidos, y ahora utilizando sistemas abiertos como sistemas ligeros, movibles, flexibles, etc. por medio de elementos tridimensionales o panelizados, terminados para su colocación y funcionamiento.

Esta investigación aporta una forma diferente de construcción para disminuir el impacto en el medio ambiente, mejorar en lo posible el aspecto social y el económico; esto se hace posible con la flexibilidad, adaptabilidad y desmontaje de los edificios. Basado en el hecho de que los componentes del edificio, la sociedad que la habita y consume, tienen períodos de vida diferentes y se utilizan para diferentes funciones, por lo que la separación de las diferentes capas de un edificio permite el acceso a los distintos elementos. Para lograr estos objetivos, el edificio debe ser previsto como un conjunto de módulos y diseñado con distintas combinaciones de forma cúbica o rectangular para estandarizar los elementos, y de igual forma, todos los elementos o componentes tendrán que ser atornillados para lograr la deconstrucción. En general, se promueve la industrialización de la construcción con la utilización de los prefabricados, como una forma de cerrar el ciclo de vida de los edificios.



- **Conclusiones particulares:**

La industria de la construcción ha adoptado, y esta aplicando los conceptos del desarrollo sostenible: ambiente, economía y sociedad. Este último rubro es el que más atención necesita, es decir, construcciones habitables, asequibles, adaptables en el tiempo y la forma, y duraderas.

El consumo de recursos naturales ha ido en aumento conforme al crecimiento y demanda de la población, de igual forma, contaminando agua, aire, suelo, etc.

La energía incorporada de los materiales es distinta, permite analizar y decidir con anticipación cuales son los que menor impacto tienen. En este sentido, los que mejor se comportan son: la madera, el ladrillo o piedra, el hormigón y el acero. Y estos dos últimos son los mejores para reutilizar, recuperar y reciclar.

El proceso de diseño se relaciona directamente con el proceso de construcción, de igual forma, con la demanda de materiales; siendo así, con la aplicación del diseño se puede reducir el impacto ambiental en todos los rubros, emisiones contaminantes de agua, suelo, extracción de recursos, consumo de energía, etc. Es decir, el proceso de diseño ineficiente genera procesos de construcción ineficiente y como tal generación de residuos.

La flexibilidad del edificio permite su desmontaje, como tal, reduce la generación de residuos, recupera los elementos, los reutiliza o los recicla, convirtiendo al mismo edificio en una fuente de recursos para las nuevas edificaciones.

La flexibilidad y adaptabilidad técnica - espacial, que se refiere a, extensible, divisorio, multifuncional, accesible, reemplazable, reconfigurable y separable, no deben ser tomados en cuenta por separado ya que no permitiría la deconstrucción o adopción de nuevas demandas del propio edificio.

La estandarización de los elementos representa un concepto no establecido, es decir, representa una limitante en la aplicación de varios edificios. Puede verse reducido a la aplicación de uno o más edificios siempre y cuando estos hayan sido diseñados con el mismo concepto, ya que al intercambiar sus elementos puede que no sean compatibles. De igual forma, la aplicación del diseño, requerimientos, normativas, etc. de construcción, de cada país o ciudad es distinto, por lo que estandarizar todos los elementos representa un trabajo inmenso.

La industrialización de la construcción representa ventajas en todos los rubros, mejoras económicas, ambientales y sociales, aunque este último muestra cierto rechazo o incredulidad del sistema y que mucho esta dado por la limitada gama de acabados.

Los módulos tridimensionales son deconstruibles, que en gran medida, se debe a la flexibilidad de sus elementos, es decir, son fijados por tornillos o juntas secas permitiendo recuperar, reemplazar o reciclar materiales y elementos. De igual forma, la deconstrucción es ecológica porque permite preservar recursos; es económica porque representa una fuente de recursos para las nuevas edificaciones; y social porque permite a los futuros usuarios prolongar la vida útil del edificio

La industrialización de la construcción permite una construcción flexible, adaptable, deconstruible, reutilizable y reciclable, a través de elementos tridimensionales terminados y listos para su instalación.

Los elementos modulares o tridimensionales son autoportantes y tienen rigidez propia, como tal, se evita construir una estructura alterna, que representaría un coste más. Por tanto se maximiza el potencial de adaptación, deconstrucción, y tienen ciclo de vida repetitivo.

El diseño de las conexiones permite la deconstrucción y recuperación de los distintos elementos y materiales del edificio. En este caso se procura que dichas conexiones sean secas o atornilladas.

La combinación de elementos prefabricados y conexiones atornilladas, permiten la independencia e intercambio de elementos del edificio con otros (siempre que estén diseñados con el mismo criterio) permiten la deconstrucción de la capa espacial, de la capa estructural (elementos) y como tal de todo el edificio.

Como sistema flexible responde a los nuevos parámetros del usuario. En este sentido, el diseño de estos edificios deberá formarse a partir de capas en el que se incluyan, desde los elementos como objetos que cambian a diario hasta la estructura principal. En este sentido adaptarse a las nuevas circunstancias del usuario generará menos costes económicos, sociales y ambientales.

Como sistema construido a partir de distintas capas y con ciclos de vida cerrados, este sistema es desmontable por completo, permitiendo recuperar por completo todos los elementos como particiones, conexiones, vigas, columnas, etc. y montarse nuevamente en otro sitio, evitando generación de residuos.

Como sistema flexible y desmontable debe tomar en cuenta los materiales, las conexiones a utilizar y el diseño de la estructura principal. El material que cumple con la mayoría de requisitos como recuperación, reciclaje, reutilización, etc. es el acero, aunque la madera y el hormigón también tienen capacidad de utilización.

La reutilización, recuperación, rehabilitación y reciclaje de elementos prefabricados y estandarizados como son los contenedores de transporte, es otra forma de construcción sostenible, es decir, en lo económico accesible, en lo ambiental reutilizables, y en lo social habitables. Lo anterior siempre que se haga una inspección de los elementos a utilizar, retirar los materiales tóxicos y colocar materiales sanos, y finalmente reconstruir.

- **Conclusiones personales:**

Personalmente, este trabajo me ha permitido entender con claridad conceptos inmersos en el desarrollo sostenible, y que se relacionan directamente con la edificación.

Antes de realizar esta investigación, como arquitecto, diseñaba y construía sin pensar en las consecuencias que todo ese proceso conlleva. Nunca pensaba en el impacto ambiental que se originaba con la utilización de los materiales, y de la misma forma, no pensaba en la posibilidad de reutilizarlos, repararlos o reciclarlos, y así reducir la cantidad de residuos que se generaban.

También, de cierta forma, pensaba en reducir los costes de construcción que siempre se relacionaba con las posibilidades de la sociedad en la que estaba. Esto es, quizá, el factor en el que pensaba a medias; diseñaba y construía para que el edificio de una de familia, con ciertas características, durara por mucho tiempo, pero nunca pensaba en la evolución del edificio. En general, diseñaba y construía de manera tradicional.

Ahora, después de este trabajo, puedo decir que hace falta mucho trabajo por realizar, entender, comprender, aplicar, y que desde ahora pondré en práctica. En otras palabras, aplicar en todo momento los conceptos estudiados en esta investigación para realizar construcciones, en lo posible, reparadoras o evolutivas.

Como en toda investigación siempre hay dificultades; y esta no fue la excepción, sobre todo la falta de información acerca del concepto de construcción. Quizá para muchos constructores, investigadores, escuelas, y sociedad, no sea importante. Nadie piensa en diseñar para deconstruir, nadie quiere perder una inversión o patrimonio y menos en estos tiempos de crisis. Como tal, los investigadores que se han dedicado a estudiar este concepto son escasos, que podríamos contar con las dos manos. De igual forma la mayoría de la información está en otro idioma, inglés y otra escasa en español. Hubo muchos autores que hablan de este tema, pero siempre dicen lo mismo, es decir, de la información de los pocos autores, por lo que llegó un momento en el que fue un círculo vicioso de información, o dar vueltas a lo mismo, y como tal llegó un momento de hacer mi propia interpretación.

Como esta dificultad hubo miles, desde tener que regresar a mi país por no conseguir un trabajo o beca en Cataluña que me permitiera seguir con la estadía, hasta proponerme el reto de no abandonar el tema y querer volver a Barcelona, y casi empezar de cero, pero todo ello, dificultades y retos, se subsanan cuando ves terminado el trabajo.

En este sentido, la falta de información ha despertado el deseo de seguir investigando acerca del tema, aplicar el concepto de desarrollo sostenible en la arquitectura, en la construcción, proyectos ecológicos, etc. así mismo me gustaría conseguir medios para experimentar este tema y saber si en realidad podemos llegar a una deconstrucción. De igual forma, me gustaría promover estos temas en las escuelas de arquitectura o edificación, para crear convicción de los impactos que ocasionamos con nuestra actividad.

Por tanto, el diseño sostenible deberá convertirse en una visión holística de la construcción. En otras palabras, deberá incluir en todo momento el diseño para: reducir, recuperar, reutilizar, ser durable, regenerar, reparar, mantener, reciclar y permitir mejoras evolutivas en los edificios.

El diseño sostenible es un acto de convicción; convicción de que los nuevos materiales exigen extracción de recursos y estos son cada vez más escasos; así, el diseño y construcción de edificios adaptables y deconstruibles deberá convertirse en una actividad común, es decir, diseñarse para ser flexibles, recuperar materiales o elementos y no generar desechos constructivos.

# BIBLIOGRAFÍA

Addis, W., Shouten, J. (2004). Design for deconstruction: Principles of design to facilitate reuse and recycling. London, UK. CIRIA.

Arets, M. J. P., Van Den Dobbelsteen, A. A. J. F., and Van Der Linden, A. C. (2005). Smart sustainable office design- Effective technological solutions, based on typology and case studies. *Smart and Sustainable Built Environmets. Blackweell Publishing, USA*. Pp 3-13.

Brand, S. (1994). How Buildings Learn: What happens after they are built. New York. Penguin Books.

Bahamón, A. (editorial coordination and text). (2002). Prefab: adaptable, modular, dismountable, light, mobile architecture; translated by Bill Bain. Loft Publications S. L. And HBI. New York, USA.

Balachandran, S., Chini, A. R. (2002). Anticipating and Responding to Deconstruction through Building Design. *Design for Deconstruction and Materials Reuse*. Karlsruhe, Germany. Pp 175-188.

Blaser, W. (2002). R-128 By Werner Sobek. Birkhauser, Publishers for Architecture, Boston.

Brouwer, J., Durmisevic, E. (2002). Design Aspects of Decomposable Building Structures. Design for Deconstruction and Materials Reuse. Karlsruhe, Germany. Pp 81-103.

Chini, A. R. (2001). Deconstruction and Materials Reuse: Technology, Economic and Policy. CIB Publication 266. Wellington, New Zeland. CIB World Building Conference.

Chris Morgan, F. S. (2005). Design for Deconstruction. Building for a Future, pp. 1-4.

Crowther, P. (2001). Developing an Inclusive Model for Design for Deconstruction. CIB Task Group. CIB World Building Congress, pp. 5-26.

Crowther, W., Henrotay, C., Paduart, A., Elsen, S., De Wilde, W. P., and Hendrickx, H. (2007). Four-Dimensional Design: from Strategies to Cases – Generation of Fractal Grammar for Reusing Building Elements. *International Journal of Ecodynamics*, 2, No. 4, pp. 258-277.

Debacker, W., Henrotay, C., Paduart, A., Elsen, S., De Wilde, W. P., and Hendrickx, H. (2007). Four-Dimensional Design: Strategies to Cases- Generation of Fractal Grammar for Reusing Building Elements. *International Journal of Ecodynamics*, 2, No. 4, pp. 258-277.

Durmisevic, E., Linthorst, P. (2000). Industrialization of Housing. Bunschoten, Netherland.

Durmisevic, E. (2002). From Massive Construction to Descomposition of Housing. Delft, Netherland.

Durmisevic, E. (2002). Towards Dynamic Building Structures. Delft, Netherland.

Garrod, E., Goodier, C., Grantham, R., Hurley, J., Lennon, T., and Waterman, A. (2002). Design for Deconstruction – Tools and Practices. *Design for Deconstruction and Materials Reuse*. Karlsruhe, Germany. pp. 139-174.

Giglio, F. (2002). Controlling Environmental Impacts in the Dismantling Phase. *Design for Deconstruction and Materials Reuse*. Karlsruhe, Germany. pp 62-69.

Gorgolewski, M. T. (2005). The potential for prefabrication in UK housing to improve sustainability. *Smart and Sustainable Built Environments*. Blackwell Publishing, USA. pp. 121-128.

Guy, B. (2001). Building Deconstruction Assessment Tool. CIB World Building Congress, pp. 129-141.

Guy, B., Ciarimboli, N. (2005). Design for Disassembly in the Built Environment: Research Report.

Guy, B., Shell, S. (2003). Design for Deconstruction and Materials Reuse.

Head, P. (2008). Conference on Designs on the Ecological Age. Cambridge, USA.

Hinze, J. (2002). Designing for Deconstruction Safety. *Design for Deconstruction and Materials Reuse*. Karlsruhe, Germany. pp 210-217.

Horman, M. J., and Luo, Y., Riley, D. R. (2005). Lean Principles for Prefabrication in Green Design-Build (GDB) Projects. Proceedings of IGLC-1. Sydney, Australia.

ISO Standards Handbook. (2007). Freight Containers, ISBN 92-67-10427-6.

Kalkin's, A. (2008). Quick build: ABC of Container Architecture. Bibliotheque Mclean, London.

Kibert, C. (2000). Construction Ecology and Metabolism. Conference Proceedings, Integrated Life Cycle Design. Helsinki.

Kibert, C. (2002). Deconstruction's Role in an Ecology of Construction. *Design for Deconstruction and Materials Reuse*. Karlsruhe, Germany. pp. 218-229.

Kieran, S., Timberlake, J. (2004). Refabricating Architecture. McGraw-Hill, New York.

Knecht, B. (2004). Designing for Disassembly and Deconstruction. Architectural Record, pp. 181-188.

Kotnik, J. (2008). Container Architecture. Links Books.

Kowalczyk, T., and Te Dorsthorst, B. J. H. (2002). Design for Recycling. *Design for Deconstruction and Materials Reuse*. Karlsruhe, Germany. pp. 70-80.

Kronenburg, R. (2007). Flexible: Architecture that Responds to Change. Laurence King Publishers, London.

Levinson, M. (2008). The Box: How the Shipping Container Made the World Smaller and the World Economy Bigger. Princeton University Press, Oxford, London.

Macozoma, D. S. (2002). Understanding the Concept of Flexibility in Design for Deconstruction. *Design for Deconstruction and Materials Reuse*. Karlsruhe, Germany. pp. 118-127.

Malavé, R. E., and Suárez, C. J. (2002). Characterization of Aggregates from Recycled C7D Waste: A proposal for its Use and Commercialization in Barquisimeto, Venezuela. *Design for Deconstruction and Materials Reuse*. Karlsruhe, Germany. pp. 230-244.

Morgan, C., and Stevenson, F. (2005). *Design and Detailing for Deconstruction*. SEDA Design Guides for Scotland, No. 1.

Mueller, A. And Reinhold, M. (2002). Lightweight Aggregate Produced from fine Fractions of Construction and Demolition Waste. *Design for Deconstruction and Materials Reuse*. Karlsruhe, Germany. pp. 27-35.

Mueller, A. And Stark, U. (2002). Recycling of Clay Brick Debris. *Design for Deconstruction and Materials Reuse*. Karlsruhe, Germany. pp. 36-46.

Ochsendorf, J. (2008). 1.819J Design For sustainability. MIT, Civil and Environmental Engineering.

Pulaski, M. C. H. (2004). Design for Deconstruction. Modern Steel Construction.

Rentz, O., and Schultmann, F. (2002). Resource-Constraint Project Scheduling for Deconstruction Projects. *Design for Deconstruction and Materials Reuse*. Karlsruhe, Germany. pp. 47-61.

Rentz, O., Seemann, A., and Schultmann, F. (2002). Cost-effective Deconstruction by a Combination of Dismantling, Sorting, and Recycling Processes . *Design for Deconstruction and Materials Reuse*. Karlsruhe, Germany. pp. 15-26.

Slaughter, E. S. (2001). Design Strategies to Increase Building Flexibility. *Building Research and Information*, 29, No. 3, pp. 208-217.

Salas, J., Oetiza, I. (2009). Estrategias Divergentes de Industrialización Abierta para una Edificación Pretenciosamente Sostenible. Informes de la construcción. Vol. 61, No. 513. pp. 11-31.

Slawik, H., Bergmann, J., Buchmeier, M., Tinney, S. (2010). Container Atlas: A Practical Guide to Container Architecture. Die Gestalten Verlag.

Storey, J. (2002). Reconstructing Deconstruction. *Design for Deconstruction and Materials Reuse*. Karlsruhe, Germany. pp. 105-117.

Tahira Elias-Özkan, S. (2002). An Overview of Demolition, Recovery, Reuse and Recycling practices in Turkey. *Design for Deconstruction and Materials Reuse*. Karlsruhe, Germany. pp. 128-138.

Tolla, A., Lignano, G., Nobel, P. (2002). LOT/ EK: Urban Scan. Princeton University Press.

Wadel, G., Avellaneda, J., Cuchí, A. (2010). La Sostenibilidad Industrializada: Cerrando el ciclo de los materiales. Informes de la Construcción, Vol. 62, No. 517. pp. 37-51.



Watson, S. (2003). *The Building Life Cycle: A conceptual Aide for Environmental Designs*. St. Lucia, University of Queensland, New Zeland.

Webster, M. D. C. (2005). *Designing Structural Systems for Deconstruction: How to Extend a New Building's Life and Prevent it from Going to Waste When the End Finally Comes*. Conference Proceedings, Atlanta.

Webster, M. D. C. (2007). *Structural Design for Adaptability and Deconstruction: A Strategy for Closing the Materials Loop and Increasing Building Value*. *Proceedings of New Horizons and Better Practices*, American Society of Civil Engineers Structures Congress.

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres... Una vez finalizada esta investigación, tengo la necesidad y dificultad de escribir el capítulo mas complicado de este trabajo. Quisiera sintetizar en pocas líneas mi sentida y sincera gratitud a ustedes, por todo su cariño, apoyo y comprensión en todo momento y desde siempre. Los llevo en el corazón.

A mi familia de toda la vida, porque sin ustedes esto sería imposible.

A mis amigos de toda la vida, porque juntos hemos aprendido a caer y a levantarnos.

Hay un comercial que dice “infoxicación”. De ahí mi gratitud a los profesores de la Universidad Politécnica de Cataluña, por supuesto, de la Escola Politècnica Superior d’Edificació de Barcelona, por todos sus conocimientos, y transmitirme la ilusión de seguir aprendiendo. Me dejan con millones de ideas y miles de dudas.

De forma muy especial, quiero dejar constancia de mi agradecimiento al Dr. José Manuel Gómez Soberón, al que nunca podré corresponder por su conocimiento y sabiduría empleados para seguir mi formación. Por si no fuera suficiente la deuda que tengo con él, me ha distinguido al guiar este trabajo, honrándome con su trato y afecto personal. Gracias de corazón y por despertar el gusanito de la sostenibilidad.

A todos mis compañeros y amigos del master, en especial a Mauricio, Mario, José y Jaume, gracias por todo; Hami, amigo, estas en todo momento, Mariel, tengo demasiadas palabras, pero eres una gran master card, tu amistad y ayuda no tienen precio. A todos ustedes gracias por compartir mil horas de trabajo, buenos y malos momentos, por aguantarme, escucharme, por hacer una estancia agradable, pasajera y de la mejor forma.

En un apartado especial, mi gratitud, lealtad y todo mi amor a Betsabé, mi esposa, compañera, amiga, amante y confidente, por su estimable apoyo y comprensión para sobrellevar el abandono de tanto tiempo al que ha estado sometida, por el olvido y atención que merece. Con todo ello, este ideal ha sido posible.

Todo esto no hubiera sido posible sin el amparo incondicional de mis padres, familia, amigos, compañeros, esposa; a ustedes me debo.

Y sin embargo se mueve... y a pesar de todo se desarma...